



Biogeosystem Technique

Issued since 2014.

E-ISSN 2413-7316
2023. 10(1). Issued 2 times a year

EDITORIAL BOARD

Editors in Chief

Cerdà Artemi – University of Valencia, Spain
Kalinitchenko Valery – Institute of Soil Fertility of South Russia, Persianovsky, Russian Federation

Deputy Editor in Chief

Ghazaryan Karen – Yerevan State University, Yerevan, Armenia

Blagodatskaya Evgeniya – Institute of Physical Chemical and Biological Problems of Soil Science of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russian Federation

Elizbarashvili Elizbar – Iakob Gogebashvili Telavi State University, Telavi, Georgia

Glazko Valery – Moscow agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Russian Federation

Lisetskii Fedor – Belgorod State University, Russian Federation

Minkina Tatiana – Southern Federal University, Russian Federation

Kızılkaya Rıdvan – Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Turkey

Okolelova Alla – Volgograd State Technical University, Russian Federation

Shein Evgeny – Moscow State University named M.V. Lomonosov, Russian Federation

Srivastava Sudhakar – Banaras Hindu University, Varanasi, India

Swidsinski Alexander – Molecular Genetic Laboratory for Polymicrobial Infections und Biofilms, Charite University Hospital, Berlin, Germany

Rajput Vishnu – Academy of Biology and Biotechnology, Rostov-on-Don, Russian Federation

Surai Peter – Feed-Food.ltd, Scotland, UK

Zhao Xionghu – China University of Petroleum, Beijing, China

Journal is indexed by: **Cross Ref** (USA), **Electronic scientific library** (Russia), **MIAR** (Spain), **Open Academic Journals Index** (USA), **CiteFactor** – **Directory of International Research Journals** (Canada).

All manuscripts are peer reviewed by experts in the respective field. Authors of the manuscripts bear responsibility for their content, credibility and reliability.

Editorial board doesn't expect the manuscripts' authors to always agree with its opinion.

Postal Address: 1717 N Street NW, Suite 1,
Washington, District of Columbia 20036

Release date 25.06.2023
Format 21 × 29,7/4.

Website: <https://bgt.cherkasgu.press>
E-mail: kalinitch@mail.ru

Headset Georgia.

Founder and Editor: Cherkas Global
University

Order № B-23.

© Biogeosystem Technique, 2023

Biogeosystem Technique

2023

Is. 1

Articles

Prospects of Citrus Cultivation on Active Hydroponic Systems in Urban Intensive Crop Production (A Review) P.O. Kazakov, S.V. Akimova, I.V. Nechiporenko, Z.A. Jabbarov, P. Kováčik, Sh.M. o'g'li Kholdorov, Z. Demir, M. Suska-Malawska, N.N. Sibulko	3
Insight into Methanobiology and Role of Emerging Technologies in Methane Management Abhishek Singh, Karen Ghazaryan, H.S. Movsesyan, A.T. Alexiou, A. Rahman Mohammad Al Tawaha, N. Chakrawarti, R. Sharma, S. Agrawal, O. Singh, U. Pratap Shahi	12
Searching for Optimal Composition of Soil Fillers L.L. Sviridova, M.G. Baryshev, M.A. Sevostyanov, V.M. Andreevskaya, S.V. Zhelezova, E.V. Grishina, J.L. Hernández Cáceres, Z. Jabbarov, U. Nomozov, S. Kholdorov, D.Asiamah Aboagye	32

Copyright © 2023 by Cherkas Global University



Published in the USA
Biogeosystem Technique
Issued since 2014.
E-ISSN: 2413-7316
2023. 10(1): 3-11

DOI: 10.13187/bgt.2023.1.3
<https://bgt.cherkasgu.press>



Articles

Prospects of Citrus Cultivation on Active Hydroponic Systems in Urban Intensive Crop Production (A Review)

Pavel O. Kazakov ^{a, b}, Svetlana V. Akimova ^{a, b, *}, Ivan V. Nechiporenko ^{a, b}, Zafarjon A. Jabbarov ^c, Peter Kováčik ^d, Shovkat M. o'g'li Kholdorov ^e, Zeynep Demir ^f, Małgorzata Suska-Malawska ^g, Nikolay N. Sibulko ^h

^a Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Russian Federation

^b All-Russian Phytopathology Research Institute, Russian Federation

^c National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Republic of Uzbekistan

^d Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia

^e Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan

^f Fertilizer and Water Resources Central Research Institute, Turkey

^g Biological and Chemical Research Centre of University of Warsaw, Poland

^h International State Ecological Institute named after A.D. Sakharov of Belarusian State University, Republic of Belarus

Paper Review Summary:

Received: 2023, May 11

Received in revised form: 2023, July 23

Acceptance: 2023, July 31

Abstract

The article considers the prerequisites for the formation of urbanized agro-production, notes its main advantages and development prospects. The main emphasis is made on intensive urban crop production, which is one of the most dynamically developing areas of city farming. A brief review of the most popular hydroponic systems presented, their specifics are described. We have identified the main vegetable, berry, green and ornamental crops, in the cultivation of which hydroponics technologies are actively used.

An important factor in the development of intensive crop production is the introduction of new crops into production. Thus, one of the most perspective directions, in our opinion, is citrus crops. In addition to their highest nutritional value, citrus fruit processing products are widely used in the cosmetic and medical industries. Colossal volume of world production and consumption of citrus fruits has made this crop the most economically important fruit crop in the world. Thus, this article presents statistics on the volume of global production, exports and imports of citrus fruits for 2019. One of the most important consumers of citrus fruits in the world trade is the Russian

* Corresponding author

E-mail addresses: akimova@rgau-msha.ru (S.V. Akimova), paulkazako@gmail.com (P.O. Kazakov)

Federation, but due to climatic conditions, its own production of citrus fruits using classical technologies of ground cultivation is very limited.

In this article, the advantages of intensive hydroponics cultivation of citrus crops were hypothesized and a preliminary experiment was conducted. Observation of the experimental plants showed an increase in growth rate relative to their counterparts growing in soil in a winter greenhouse under similar temperature, humidity and light conditions. These preliminary results open wide possibilities for further experiments on selection of cultivars, grafting methods and obtaining productive plants.

Keywords: urbanization, intensive crop production, city farming, hydroponics, DWC system, NFT system, Flood and Drain system, citrus crops.

1. Введение

Современный мир невозможно представить без мегаполисов. Именно в крупнейших городских агломерациях, которые являются движущей силой развития национальных экономик, создается и сосредотачивается значительная часть материальных богатств развитых стран (Damdinsuren, Kholina, 2020). Процесс образования городских агломераций является следствием роста крупных городов. Этот процесс возник с середины 20 века и продолжается до сих пор (Antonov, Makhrova, 2019).

Изучение распределения современных городских агломераций по регионам мира показало, что более половины городского населения сосредоточено в 380 крупнейших городах и агломерациях, большинство из которых находится в Азии. При этом, число агломераций Африки и Латинской Америки увеличивается, а Европы и Северной Америки уменьшается. Также, все крупнейшие агломерации находятся в самых больших странах мира по численности населения (Fefilov, 2011). Одной из стран с высоким уровнем урбанизации является Россия. С 1917 по 2017 год количество людей, проживающих в городах, выросло с 16 до 74 % (Fefilov, 2011; Manaeva, 2017).

Для урбанизации характерен не только рост городского населения, но и существенное уменьшению численности сельского населения. Так, с 2008 года численность населения в городах уже превышает численность населения в сельской местности (Mitaev, 2018).

Сокращение сельского населения вследствие миграции в крупные города приводит к сокращению традиционного сельскохозяйственного производства, а растущее население городов требует все большего количества качественной и доступной пищи. Все это приводит к увеличению рисков для продовольственной безопасности (Petrova, 2020).

Уже сегодня городам критически необходимы внешние поставки продовольствия. Так, для успешного существования города с населением в 10 миллионов человек необходимо 6,6 тыс. т. продукции в день (Lepeska, 2013). По оценкам ФАО, прирост традиционного сельскохозяйственного производства в следующее десятилетие составит 1,5 % в год, однако этого недостаточно, чтобы покрыть опережающее увеличение потребности в пище на фоне возрастающих темпов роста городского населения (FAO, 2010).

Немаловажным является стремительный рост цен на продукцию традиционного сельского хозяйства вследствие логистических потерь, увеличения стоимости услуг перевозчиков и операторов хранения. При этом в случае продолжительной транспортировки происходит неминуемое снижение свежести и качества продукции для конечного потребителя (Drozdov, 2008; Sembin, Surankulov, 2020).

2. Методология

Одним из вариантов решения данной проблемы является дополнение традиционного сельского хозяйства принципиально новым типом производства пищевой продукции – городским агропроизводством (сити-фермерством). Главными достоинствами сити-фермерства являются: высокая технологичность, ресурсоэффективность, климатонезависимость и возможность круглогодичного автоматизированного выращивания продукции непосредственно в местах ее потребления, что сводит к минимуму логистические издержки и количество отходов производства (Sembin, Surankulov, 2020).

Основой сити-фермерства является создание контролируемой среды с высоким уровнем автоматизации в условиях защищенного грунта. Изолированность производства от внешних условий и полный контроль необходимых параметров позволяет производить

продукцию, отвечающую самым высоким стандартам качества (безопасность, натуральность, экологичность, свежесть). При этом, использование такой интенсивной технологии выращивания, как гидропоника, позволяет получать более экологичную продукцию по сравнению с технологиями традиционного сельского хозяйства (Fu et al., 2008). В настоящее время мировой рынок органических продуктов стремительно расширяется и по прогнозам экспертов к 2030 году вырастет до 564,22 млрд долл. (GVR, 2023).

Одним из важнейших направлений сити-фермерства является городское интенсивное растениеводство. Оно базируется на использовании гидропонных систем, имеющие конструктивные различия, но объединенные по механизму действия. Гидропоника подразумевает выращивание растений на специальном водном питательном растворе, содержащем все необходимые для роста растений минеральные соли. При этом, все гидропонные системы разделяются на две большие группы – субстратные и безсубстратные (Petrova, Shlykov, 2019).

Субстратные гидропонные системы нуждаются в использовании инертного субстрата, выполняющего функцию удержания корневой системы растений и поддержания оптимальных условий для их роста и развития. Субстраты, применяемые в гидропонике, делятся на две группы – неорганические и органические. Среди наиболее популярных неорганических субстратов можно выделить минеральную вату, перлит, вермикулит и керамзит. Из органических – торф и кокос (Tsydendambaev, 2019). В безсубстратных гидропонных системах субстрат отсутствует.

Все промышленные гидропонные системы относят к «активным» системам. В них циркуляция питательного раствора или его аэрация производится с помощью механического воздействия. Питательный раствор и воздух поступает к корням при помощи различных помп и насосов.

Одним из простейших видов активных гидропонных систем является система глубоководных культур (DWC). DWC – это гидропонная технология, основанная на постоянном погружении корней растений в раствор, содержащий питательные вещества. Её особенностью является наличие резервуара с питательным раствором, который необходимо регулярно аэрировать. Насыщение питательного раствора воздухом происходит с помощью воздушных компрессоров. Аэрация раствора позволяет поддерживать оптимальный уровень кислорода в корневой зоне, что способствует дыханию корневой системы и эффективному поглощению питательных веществ. Однако, при отключении электроэнергии уровень растворенного в воде кислорода быстро падает, из-за чего корневая система начинает испытывать кислородное голодание и постепенно отмирает (Nursyahid et al., 2021).

Еще одной распространенной системой является техника питательной пленки (NFT). Также она известна как система непрерывной рециркуляции или просто – система рециркуляции. Принцип работы системы NFT заключается в рециркуляции питательного раствора между резервуаром и плоскими каналами, в которых находятся растения. С помощью электрического насоса питательный раствор перекачивается в пластиковые каналы, расположенные наклонно и медленно стекает обратно в резервуар. Таким образом на дне каналов образуется пленка насыщенного кислородом питательного раствора. Непрерывный поток питательного раствора поддерживает постоянный контакт корней с раствором, что обеспечивает хорошее снабжение корневой системы кислородом и необходимыми минеральными питательными веществами. Недостатком системы служит высокая зависимость от электроэнергии, поскольку необходима бесперебойной работа насоса. В случае его отключения питательная пленка быстро пересыхает, что ведет к высыханию и отмиранию корневой системы (Rodríguez-Delfín, 2023).

Следующий тип гидропонной системы, который мы рассмотрим, это метод приливов и отливов (Flood and Drain). Также ее называют системой периодического затопления. Она состоит из двух резервуаров, расположенных друг над другом. Из нижнего резервуара с помощью электрического насоса раствор подается в верхний резервуар, в котором растут растения. После наполнения верхнего резервуара насос отключается и раствор постепенно стекает обратно в нижний резервуар. После этого цикл повторяется. Эта система позволяет экономить электричество, поскольку насос работает интервалами, а не постоянно, как в NFT. Благодаря циклическому погружению в питательный раствор корневая система получает

достаточно кислорода и питательных минеральных веществ. Эта система также зависит от бесперебойной работы насоса. Его отключение ведет к быстрому высыханию и отмиранию корневой системы (Sela Saldinger et al., 2023).

Следующий вид гидропонной системы - это система капельного полива, также называемая малообъемным выращиванием. В настоящее время она является самой распространенной гидропонной системой в мире. Ее особенностью является использование инертного субстрата, в котором растет растение. Питательный раствор равномерно подается под каждое растение с помощью насоса и специальной системы капельниц. Среди систем капельного полива выделяют два вида систем – реверсивные и нереверсивные. Реверсивные системы являются более сложными и дорогими, но вместе с тем более ресурсосберегающими. Они повторно используют дренажный сток, образующийся после полива растений, пропуская его через системы очистки, обеззараживания и восстановления. Нереверсивные системы являются более простыми и дешевыми, но при этом менее ресурсоэффективными. В этих системах дренажный сток не используется вторично и удаляется в отходы. По сравнению с предыдущими системами, наличие влагоемкого субстрата позволяет растениям переносить временные отключения системы. Однако, необходима чистка капельниц для предотвращения их засорения и прекращения подачи питательного раствора к корням растений (Abedin et al., 2021; Maucieri et al., 2019; Bondarenko, 2018).

Последняя система, которую мы рассмотрим, это аэропоника. Она является самой высокотехнологичной и современной из коммерческих гидропонных систем. Ее особенностью является наличие резервуара, в крышке которого закреплены растения, а их корни свободно свисают вниз. С помощью мощного насоса и системы форсунок корневая система растений периодически увлажняется распыленным питательным раствором. Таким образом корневая система растений находится в постоянном тумане, состоящем из питательного раствора и кислорода. Именно максимально возможная степень аэрации способствует очень высоким темпам роста выращиваемых культур. Однако эта система также очень чувствительна к отключению электроэнергии и поломке оборудования. Без увлажнения нежные и тонкие корни высыхают и погибают очень быстро (Niu, Masabni, 2022).

3. Обсуждение

Несмотря на конструктивные различия гидропонных систем, при выращивании на них растений необходимо контролировать общие параметры среды. К ним относятся химический состав питательного раствора, его электропроводность (Ес) и кислотность (рН), интенсивность освещения и его спектральный состав (в случае использования искусственного освещения), температуру воздуха и раствора, влажность воздуха и его газовый состав (Bondarenko, 2018; Protopopova et al., 2022).

Несмотря на то, что гидропонные фермы являются более затратным способом выращивания растений по сравнению с технологиями выращивания традиционного сельского хозяйства (Pomoni et al., 2023), современное производство многих популярных культур невозможно без гидропоники.

Самыми популярными культурами среди овощных, выращиваемых в промышленных масштабах, являются: огурец (*Cucumis sativus* L.) и томат (*Solanum lycopersicum* L.) (Medany et al., 2008; Fayeizadeh et al., 2021). Самые распространенные зеленные культуры, выращиваемые для потребления в крупных городах в свежем виде, также производятся на гидропонных фермах (Abu-Shahba et al., 2021). Среди ягодных культур, наиболее популярной для выращивания в условиях гидропоники является земляника садовая (*Fragaria × ananassa* (Weston) Duchesne ex Rozier) (Gómez et al., 2012). Также технологии гидропоники широко применяются при производстве многолетних декоративных культур, например, розы (*Rosa* L.) (Fascella, 2007). При этом, количество культур, для выращивания которых начинают применять технологию гидропоники, постоянно увеличивается.

Немаловажным фактором развития интенсивного растениеводства является внедрение в производство новых культур (Debangshi, 2021). Так, одним из перспективных направлений, по нашему мнению, являются цитрусовые культуры.

Род Цитрус (*Citrinae* L.) принадлежит к подсемейству Померанцевые (*Aurantioideae* Eaton.), семейству Рутовые (*Rutaceae* Juss.), порядку Сапиндоцветные (*Sapindales* Dumort.)

и включает в себя многочисленные разновидности фруктов, используемых в промышленном производстве. К ним относятся сладкие, кислые и горькие апельсины, мандарины, грейпфруты, лимоны, лаймы, цитроны и т.д., а также очень большое количество гибридов и цибридов (цитоплазматических гибридов). Цитрусовые выращивают почти во всех странах на 30-35 градусов севернее и южнее экватора (Berk, 2016).

Цитрусовые являются важным источником пищи и энергии, играют значительную роль в здоровом питании. Помимо высокого содержания углеводов, плоды цитрусовых являются хорошим источником пищевых волокон. Кроме того, цитрусовые являются одним из важнейших источников витамина С и различных биологически активных соединений. Плоды цитрусовых широко используют не только в свежем виде, но и в переработанном. Из них получают сок, готовят джем, желе, пироги, торты, конфеты, мармелад и т.д. Большинство отходов цитрусовых в настоящее время используется в качестве корма для животных. Побочные продукты переработки цитрусовых широко используются в медицинских и косметических целях (Maruf, Saeid, 2021).

Цитрусовые – самая экономически важная фруктовая культура в мире (Abouzari, Nezhad, 2016). По данным ФАО, мировое производство цитрусовых в 2019 году составило 143 755,6 тыс. т. (в 2018 – 133 805,5 тыс. т.). Из них апельсины – 76 292,6 тыс. т. (в 2018 – 70 841,5 тыс. т.). Мандарины – 37 429,3 тыс. т. (в 2018 году - 35 964,9 тыс. т.). Лимоны и Лаймы – 20 529,6 тыс. т. (в 2018 – 18 143,2 тыс. т.). Грейпфруты – 9 504,1 тыс. т. (в 2018 – 8 863,3 тыс. т.). При этом, отчетливо видна тенденция к увеличению объемов производства (FAO, 2021).

Мировой экспорт цитрусовых по данным ФАО за 2019 год составил 17 417,7 тыс. т. (за 2018 год – 18 269,3 тыс. т.). Основными мировыми экспортерами являются: Европейский регион (5 973,8 тыс. т.). Лидер – Испания (4 043,9 тыс. т.); Африканский регион (4 810,0 тыс. т.). Лидеры – ЮАР (2 090,7 тыс. т.) и Египет (1 957,5 тыс. т.); Азиатский регион (3 542,1 тыс. т.). Лидеры – Турция (1 463,9 тыс. т.) и Китай (1003,5 тыс. т.); Южноамериканский регион (1 183,7 тыс. т.); Североамериканский регион (США) – (667,4 тыс. т.). Экспорт цитрусовых из Российской Федерации за 2019 год составил 18,6 тыс. т. (FAO, 2021).

Мировой импорт цитрусовых по данным ФАО за 2019 год составил 16 560,4 тыс. т. (за 2018 год – 16 152,4 тыс. т.). Основными мировыми импортерами являются: Европейский регион (10 037,8 тыс. т.). Лидер – Российская Федерация (1 724,0 тыс. т.); Азиатский регион (4 236,3 тыс. т.). Лидер – Саудовская Аравия (604,4 тыс. т.); Североамериканский регион (1 775,7 тыс. т.). Лидер – США (1 303,5 тыс. т.) (FAO, 2021).

Анализируя статистику экспорта и импорта цитрусовых в Российской Федерации, отчетливо видно значительное преобладание импорта (1 724,0 тыс. т.) над экспортом (18,6 тыс. т.). Это является следствием ограничения площадей, пригодных для отечественного цитрусоводства. Биологически цитрусовые – субтропические и теплолюбивые растения, способные успешно произрастать в климатических условиях России лишь на Черноморском побережье Краснодарского края. На этих небольших площадях возможно возделывание цитрусовых в промышленных масштабах по классическим технологиям грунтового выращивания (Gorshkov, 1996).

Эти ограничения возможно снять, используя современные технологии сити-фермерства и гидропоники. Это утверждение основано на том факте, что цитрусовые культуры являются вечнозелеными растениями, способными при благоприятных условиях расти круглогодично (Patial, Gorshkov, 2021). Также многие цитрусовые, в частности лимоны, проявляют свойства ремонтантности – способности цвести и плодоносить волнами на протяжении всего периода роста (Agustí et al., 2022).

Эти свойства, по нашему мнению, открывают широкие перспективы для внедрения технологий урбанизированного агропроизводства и гидропоники для круглогодичного получения продукции цитрусовых культур непосредственно в местах ее потребления (крупных городах).

В подтверждение нашей гипотезы, был поставлен предварительный эксперимент, доказывающий возможность выращивания цитрусовых в искусственных условиях на гидропонике. В качестве объекта исследования был выбран лимон Волкамер (*Citrus volkameriana* V.Ten. & Pasq.) – энергичный и продуктивный подвой цитрусовых, известный своей адаптивностью и универсальностью. Его несомненным преимуществом является

устойчивость к таким распространенным болезням citrusовых, как корневая гниль, тристеза, экзокортис и ксилопороз (Castle et al., 1993).

Укорененные черенки, полученные от плодоносящего дерева, высаживали в гидропонную установку, работающую по методу приливов и отливов (Flood and Drain).

На **Рисунке 1** представлены растения *Citrus volkameriana* V.Ten. & Pasq. возрастом 12 мес. Для удержания кроны в пределах гидропонной установки проводили регулярную обрезку растений.

Параметры выращивания: температура +21°C; влажность 60%; Освещенность 30 000 lux; фотопериод (день/ночь) 16/8.



Рис. 1. Растения *Citrus volkameriana* V.Ten. & Pasq. после 12 месяцев выращивания на гидропонной установке Flood and Drain

Наблюдение за опытными растениями показало увеличение скорости роста по отношению к аналогичным, растущим в почве в условиях зимней теплицы – 6 волн роста у растений, растущих в искусственных условиях на гидропонике против 3 волн у растений, растущих в почве при аналогичной температуре, влажности и освещенности.

4. Заключение

Появление отрасли интенсивного городского растениеводства – это закономерный этап эволюции традиционного агропроизводства на фоне увеличения темпов урбанизации. Рациональная и высокоэффективная организация ресурсов позволяет многократно повысить производительность растительных культур и увеличить продуктивность с ограниченной площади.

Во многом это возможно благодаря гидропонике, являющейся одной из важнейших технологий интенсивного растениеводства. Широкое применение этой технологии уже сейчас позволяет получать экологически чистую растительную продукцию непосредственно в местах ее потребления. При этом, спрос растет не только на классические овощные, ягодные и декоративные культуры, технологии производства которых уже давно отработаны, но и на новые для интенсивного растениеводства культуры.

К одной из таких культур относятся citrusовые, по импорту которых Российская Федерация занимает лидирующую позицию. В силу особенностей климатических условий собственное производство citrusовых культур по классическим технологиям ограничено, что возможно решить применением интенсивных технологий выращивания на гидропонике.

Нами был поставлен предварительный эксперимент, доказывающий возможность выращивания citrusовых в искусственных условиях на гидропонике. Его предварительные результаты, которые мы сочли удачными, открывают широкие возможности для

дальнейших экспериментов по подбору культурных сортов, методов прививки и получению продуктивных растений.

References

- Abedin et al., 2021** – *Abedin, T., Yamamoto, A., Hayashi, T., Hosokawa, M.* (2021). Drip fertigation enhances the growth of hydroponic lettuce (*Lactuca sativa*) using polyester fiber substrate. *Scientia Horticulturae*. 276. DOI: 10.1016/j.scienta.2020.109604
- Abouzari, Nezhad, 2016** – *Abouzari, A., Nezhad, N.M.* (2016). The Investigation of Citrus Fruit Quality. Popular Characteristic and Breeding. *Acta Univ. Agric. Silv. Mendelianae Brun.* 64(3): 725-740. DOI: 10.11118/actaun201664030725
- Abu-Shahba et al., 2021** – *Abu-Shahba, M.S., Mansour, M.M., Mohamed, H.I.* (2021). Comparative Cultivation and Biochemical Analysis of Iceberg Lettuce Grown in Sand Soil and Hydroponics With or Without Microbubbles and Macrobubbles. *J Soil Sci Plant Nutr.* 21: 389-403. DOI: 10.1007/s42729-020-00368-x
- Agustí et al., 2022** – *Agustí, M., Reig, C., Martínez-Fuentes, A., Mesejo, C.* (2022). Advances in Citrus Flowering: A Review. *Front Plant Sci.* DOI: 10.3389/fpls.2022.868831
- Antonov, Makhrova, 2019** – *Antonov, E.V., Makhrova, A.G.* (2019). The largest urban agglomerations and forms of settlement at the nadagglomeration level in Russia. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Series geographical.* 4: 31-45. DOI: 10.31857/S2587-55662019431-45
- Berk, 2016** – *Berk, Z.* (2016). Citrus Fruit Processing. *Academic Press.* 1-8. DOI: 10.1016/B978-0-12-803133-9.00001-1
- Bondarenko, 2018** – *Bondarenko, E.V.* (2018). Cultivation of some crop plants in low-volume hydroponics. *Young Researcher of the Don.* 4(13): 18-23.
- Castle et al., 1993** – *Castle, W., Tucker, D., Krezdorn, A., Youtsey, C.* (1993). Rootstocks for Florida Citrus. University of Florida. Institute of food and agricultural sciences. 92.
- Damdinsuren, Kholina, 2020** – *Damdinsuren, D., Kholina, V.N.* (2020). Dynamics of the world's largest agglomerations by population (1990-2020). *Innovative Economy.* 4(25): 28-43.
- Debangshi, 2021** – *Debangshi, U.* (2021). Hydroponics – An Overview. *Chronicle of Bioresource Management.* 5(3): 110-114. DOI: 10.5281/ZENODO.5552644
- Drozdov, 2008** – *Drozdov, P.A.* (2008). Fundamentals of logistics: textbook. (Belarus). 211.
- FAO, 2010** – Global food losses and food waste. Extent, causes and prevention. (2010). Edited by Jenny Gustavsson & Christel Cederberg. Düsseldorf, Germany. [Electronic resource]. URL: <http://www.fao.org/docrep/014/mbo60e/mbo60e00.pdf> (date of access: 20.06.2023).
- FAO, 2021** – Citrus Fruit Fresh and Processed Statistical Bulletin 2020. (2021). Rome. Italy. [Electronic resource]. URL: <https://www.fao.org/3/cb6492en/cb6492en.pdf> (date of access: 28.06.2023).
- Fascella, 2007** – *Fascella, G.* (2007). Evaluating the Productivity of Red Rose Cultivars in Soilless Culture. *Acta Horticulturae.* 751(751): 99-104. DOI: 10.17660/ActaHortic.2007.751.11.
- Fayezizadeh et al., 2021** – *Fayezizadeh, M., Ansari, N., Albaji, M., Khaleghi, E.* (2021). Effects of hydroponic systems on yield, water productivity and stomatal gas exchange of greenhouse tomato cultivars. *Agricultural Water Management. Elsevier.* 258. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107171
- Fefilov, 2011** – *Fefilov, A.V.* (2011). Features of population concentration of highly developed countries of the world in large cities in different periods of the twentieth century in connection with the level of their economic and technological development. *Vestnik of Udmurt University. Philosophy. Psychology. Pedagogy.* 2: 134-141.
- Fu et al., 2008** – *Fu, T.-T., Liu, J.-T., Hammitt, J.K.* (2008). Consumer Willingness to Pay for Low-Pesticide Fresh Produce in Taiwan. *J. Agric. Agric. Econ.* 50: 220-233. DOI: 10.1111/j.1477-9552.1999.tb00809.x
- Gómez et al., 2012** – *Gómez, H.R., Sandoval-Villa, M., Carrillo-Salazar, A., Muratalla-Lúa, A.* (2012). Comparison of Hydroponic Systems in the Strawberry Production. *Acta Horticulturae.* 947: 165-172. DOI: 10.17660/ActaHortic.2012.947.20
- Gorshkov, 1996** – *Gorshkov, V.M.* (1996). Citrus growing in the subtropics of Russia: abstract of disc. of doctor of agricultural sciences: 06.01.07. Moscow. 42. [in Russian]
- GVR, 2023** – Organic Food And Beverages Market To Reach \$564.22 Billion By 2030. [Electronic resource]. URL: <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-organic-food-beverages-market> (date of access 06.13.2023).

- Kolomak, 2011 – Kolomak, E.A. (2011). Assessment of the impact of urbanization on economic growth in Russia. *Region: Economics and Sociology*. 4: 51-69.
- Lepeska, 2013 – Lepeska, D. (2013). Betting the Farm: Is There an Urban Agriculture Bubble? Next City. [Electronic resource]. URL: <https://nextcity.org/features/view/betting-the-farm> (date of access: 26.06.2023).
- Manaeva, 2017 – Manaeva, I.V. (2017). Urbanization and economic development in the regions of Russia. *Economic analysis: theory and practice*. 16(9): 1635-1663.
- Maruf, Saeid, 2021 – Maruf, A., Saeid, A. (2021). Citrus Fruits: Nutritive Value and Value-Added Products. Citrus – Research, Development and Biotechnology. *IntechOpen*. DOI: 10.5772/intechopen.95881
- Maucieri et al., 2019 – Maucieri, C., Nicoletto, C., Van Os, E., Anseeuw, D., Van Havermaet, R., Junge, R. (2019). *Hydroponic Technologies. Aquaponics Food Production Systems*. Springer, Cham. 77-110. DOI: 10.1007/978-3-030-15943-6_4
- Medany et al., 2008 – Medany, M.A., Hafez, M.M., Abou-Hadid, A.F., El-Beltagy, A.S. (2008). Root Media Materials for Cucumber Production in Closed Recirculated Hydroponic Systems. *Journal of Vegetable Crop Production*. 29-35. DOI: 10.1300/J068v01n01_04
- Mitaev, 2018 – Mitaev, M.I. (2018). Prospects, problems and trends of global urbanization processes. *Izvestiya Chechen State University*. 4(12): 40-44.
- Niu, Masabni, 2022 – Niu, G., Masabni, J. (2022). Hydroponics. *Plant Factory Basics, Applications and Advances*. 153-166. DOI: 10.1016/B978-0-323-85152-7.00023-9
- Nursyahid et al., 2021 – Nursyahid, A., Setyawan, T.A., Sa'diyah, K., Wardihani, E.D., Helmy, H., Hasan, A. (2021). Analysis of Deep Water Culture (DWC) hydroponic nutrient solution level control systems. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* DOI: 10.1088/1757-899X/1108/1/012032
- Patial, Gorshkov, 2021 – Patial, U., Banyal, S. (2021). Nursery production of evergreen fruits. *International Journal of Plant Production* 4(2): 12-19.
- Petrova, 2020 – Petrova, M.N. (2020). Urbanization and food security. *In the world of scientific discoveries: Proceedings of the IV International Student Scientific Conference*. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin. 5: 45-48. [in Russian]
- Petrova, Shlykov, 2019 – Petrova, E.V., Shlykov, M.V. (2019). Study of substrates for hydroponic method of growing crops. Problems of environmental education in the XXI century: Proceedings of the III International Scientific Conference, dedicated to the 100th anniversary of the Pedagogical Institute. Edited by Gracheva, E.P. Vladimir State University. 317-321. [in Russian]
- Pomoni et al., 2023 – Pomoni, D.I., Koukou, M.K., Vrachopoulos, M.G., Vasiliadis, L. (2023). A Review of Hydroponics and Conventional Agriculture Based on Energy and Water Consumption, Environmental Impact, and Land Use. *Energies*. 16. DOI: 10.3390/en16041690
- Protopopova et al., 2022 – Protopopova, D.A., Podosinina, I.S., Kozhevnikova, E.M. (2022). National experience in the organization of city-farming enterprises. State and prospects of development of agro-industrial complex: anniversary collection of scientific papers of the XV International Scientific and Practical Conference. Rostov-on-Don. Pp. 160-163.
- Rodríguez-Delfín, 2023 – Rodríguez-Delfín, A. (2023). Peruvian hydroponics: low-cost options to produce vegetables for South American cities. *Urban and Regional Agriculture: Building Resilient Food Systems*. 561-594. DOI: 10.1016/B978-0-12-820286-9.00021-2
- Sela Saldinger et al., 2023 – Sela Saldinger, S., Rodov, V., Kenigsbuch, D., Bar-Tal, A. (2023). Hydroponic Agriculture and Microbial Safety of Vegetables: Promises, Challenges, and Solutions. *Horticulturae*. 9(51). DOI: 10.3390/horticulturae9010051
- Sembin, Surankulov, 2020 – Sembin, M.C., Surankulov, Sh.J. (2020). Urbanized agricultural production (city-farming) as a promising direction of development of the south of Russia and northern Kazakhstan. Post-industrial environment of Russian megacities: Collection of articles on the materials of scientific and technical conference with international participation. Edited by Shuvalov, M. V., Akhmedova, E. A., Karakova, T. V. Samara State Technical University. Pp. 98-103.
- Tsydendambaev, 2019 – Tsydendambaev, A.D. (2019). Greenhouse practice: Irrigation, nutrition, substrates. *Digest of the journal "Mir Teplits"*. Pp. 140-171.

Перспективы выращивания цитрусовых на активных гидропонных системах в городском интенсивном растениеводстве (обзор)

Павел О. Казаков ^{a, b, *}, Светлана В. Акимова ^{a, b, *}, Иван В. Нечипоренко ^{a, b}, Зафаржон А. Джаббаров ^c, Петр Ковачик ^d, Шовкат М. оглы Холдоров ^e, Зейнеп Демир ^f, Малгожата Суска-Малавская ^g, Николай Н. Сибулко ^h

^a Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени Тимирязева, Российская Федерация

^b Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Российская Федерация

^c Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улутбека, Узбекистан

^d Словацкий сельскохозяйственный университет в Нитре, Словакия

^e Токийский сельскохозяйственно-технологический университет, Япония

^f Центральный научно-исследовательский институт удобрений и водных ресурсов, Турция

^g Центр биологических и химических исследований Варшавского университета, Польша

^h Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета, Республика Беларусь

Аннотация. В статье рассмотрены предпосылки формирования урбанизированного агропроизводства, отмечены его основные достоинства и перспективы развития на фоне сокращения темпов роста традиционного сельского хозяйства. Основной акцент сделан на интенсивном городском растениеводстве, являющимся одним из самых динамично развивающихся направлений сити-фермерства. Представлен краткий обзор наиболее популярных активных гидропонных систем, описана их специфика. Выделены основные овощные, ягодные, зеленные и декоративные культуры, в выращивании которых активно применяются технологии гидропоники.

Немаловажным фактором развития интенсивного растениеводства является внедрение в производство новых культур. Так, одним из перспективных направлений, по нашему мнению, являются цитрусовые культуры. Помимо их высочайшей пищевой ценности, продукты переработки плодов цитрусовых культур широко используются в косметической и медицинской промышленности. Колоссальные объемы мирового производства и потребления цитрусовых сделали эту культуру самой экономически важной фруктовой культурой в мире. Так, в статье представлена статистика по объему мирового производства, экспорту и импорту цитрусовых за 2019 год. Одним из важнейших потребителей цитрусовых в мировой торговле является Российская Федерация, но в силу климатических условий, собственное производство цитрусовых с использованием классических технологий грунтового выращивания сильно ограничено.

В статье были выдвинуты предположения о преимуществах интенсивного выращивания цитрусовых культур в условиях гидропоники и поставлен предварительный эксперимент. Наблюдение за опытными растениями показало увеличение скорости роста по отношению к аналогичным, растущим в почве в условиях зимней теплицы при аналогичной температуре, влажности и освещенности. Эти предварительные результаты открывают широкие возможности для дальнейших экспериментов по подбору культурных сортов, методов прививки и получению продуктивных растений.

Ключевые слова: урбанизация, интенсивное растениеводство, сити-фермерство, гидропоника, DWC система, NFT система, система малообъемного выращивания, цитрусовые культуры.

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: akimova@rgau-msha.ru (С.В. Акимова), paulkazako@gmail.com (П.О. Казаков)

Copyright © 2023 by Cherkas Global University



Published in the USA
Biogeosystem Technique
Issued since 2014.
E-ISSN: 2413-7316
2023. 10(1): 12-31

DOI: 10.13187/bgt.2023.1.12
<https://bgt.cherkasgu.press>



Insight into Methanobiology and Role of Emerging Technologies in Methane Management

Abhishek Singh ^{a, *}, Karen Ghazaryan ^a, Hasmik S. Movsesyan ^a, Athanasios T. Alexiou ^b, Abdel Rahman Mohammad Al Tawaha ^c, Neha Chakrawarti ^d, Ragini Sharma ^e, Shreni Agrawal ^f, Omkar Singh ^j, Uday Pratap Shahi ^h

^a Faculty of Biology, Yerevan State University, Yerevan, Armenia

^b Novel Global Community Educational Foundation (NGCEF), Hebersham Hebersham, Australia

^c Department of Biological Sciences, Al Hussein bin Talal University, Maan, Jordan

^d Department of Genetics and Plant Breeding, Govind Ballabh Pant University of Agriculture and Technology, Pant-nagar, India

^f Punjab Agricultural University, Ludhiana, Punjab, India

^j Department of Biotechnology, Parul Institute of Applied Science, Parul University, Vadodara, Gujarat, India

^h Department of Soil Science, College of Agriculture, Sardar Vallabhbhai Patel University of Agriculture and Technology, Meerut, India

Paper Review Summary:

Received: 2022, November 25

Received in revised form: 2023, July 18

Acceptance: 2023, August 17

Abstract

Methane (CH₄) is produced by a number of natural processes that add to the global CH₄ budget in various ways. A change in the planet's climate can be influenced by CH₄ if there is a surplus or deficit in the CH₄ budget. Major contributors to atmospheric CH₄ levels include wetlands, paddies, animals, industrial facilities, and fossil fuels. CH₄ is emitted from wetland and rice field ecosystems due in large part to the activity of methanogen microbes. CH₄ emission is affected by several variables, including the level of the water table, the average temperature, and the composition of the local vegetation. Understanding the temperature response of microbial methanogenesis in anaerobic soils is crucial for predicting the feedback between this potent greenhouse gas and climate change. It was the bacterial and/or archaeal community structures that determined the methanogenic function of the soil, which in turn was determined by the incubation temperature, albeit to a large extent on an individual basis for each soil. Different taxonomic community structures in the various soils and at various temperatures indicated that there was quite a bit of functional redundancy between them.

Keywords: methane, methanogen, anaerobic soil, temperature, vegetation.

* Corresponding author

E-mail addresses: intmsc.abhi@gmail.com (A. Singh)

1. Introduction

Among the gases contributing to green house effect, methane (CH_4) is a prominent one (Singh, Gupta, 2016). Rice farming, waste management, energy consumption, biomass burning, wetland, livestock, landfills, and others contribute to CH_4 emissions (Dlugokencky et al., 2011; Kirschke et al., 2013; Saunio et al., 2016). Along with this, CH_4 is one of the widely present reducing compounds in the atmosphere, which has significant effects on the carbon cycle of the earth, which is the key to maintaining the balance between inorganic and organic carbon pools in the atmosphere, hydrosphere, terrestrial biosphere, and geosphere (Dean et al., 2018). Marine and terrestrial biosphere can be fixed the oxidized form of carbon which is carbon dioxide (CO_2). Organic material degradation results in the conversion of biomass carbon matter into CH_4 (Bhatla, Lal, 2018). This conversion in turn, depends on environmental conditions. CH_4 gas has the ability to absorb infrared radiation 30 times stronger than other greenhouse gases like carbon dioxide. After becoming stimulated, it absorbs the earth's infrared radiation and begins to release heat into the atmosphere in all directions (Nema et al., 2012). As CH_4 concentration is less than carbon dioxide in the atmosphere, its life span is about 8 years and does not have a prominent effect. However, small changes may significantly affect the greenhouse effect (Tiwari et al., 2020). CH_4 has two major oxidation pathways. In the first one, oxidation of CH_4 occurs photochemically in the atmosphere, and in a second way, oxidation occurs biologically in the terrestrial and aquatic regions. Central biological system on earth, like ocean, grasslands, and desert, acts as a sink for CH_4 , while sources produce CH_4 like, wetlands, rice fields, grazing land of animal and landfills (Ward et al., 2004). Transplanted rice fields and wetlands are significant sources of CH_4 emissions. Some peculiar characteristics like water table, temperature, and organic material aid the CH_4 production in these two areas. Wetland and rice farming is dependent on water. Without water, the existence of wetland ecosystem and rice farming are not possible. The drought-like conditions cause reduced CH_4 production in wetlands (Bubier, Moore, 1994). Environmental temperature has direct effect on wetland and rice field soil temperature. The growth and development of methanogens varies with soil temperature (Lorius et al., 1990; Petit et al., 1999; Quiquet et al., 2015; Renssen et al., 2018). The optimum temperature range for growth of these methanogens can be determined under controlled laboratory conditions for methanogenesis, methanotrophy, and soil respiration but the same temperature-related interpretation is not possible in the field conditions (Serrano-Silva et al., 2014; Singh et al., 2018). The optimum range temperature for the temperate zone lies between 25 °C to 40 °C, and in cold subarctic conditions the growth temperature is between 20 °C to 25 °C (Hanson, Hanson, 1996; Whalen, 2005; Inglett et al., 2011). The availability of carbon, microbial activity, and the respiration of subterranean plant organs all affect how much CH_4 is emitted as a function of temperature (Inglett et al., 2011; Singh et al., 2018). In few cases, the activity of methanogens has been identified at 0 °C, where the earth surface freezes, trapping the expelled gas under or into the ice (Singh et al., 2018; Zheng et al., 2018). Organic material act as the largest store for carbon that affects the soil properties and is also required for the development of microorganisms and plants (Six et al., 2002; Quéré et al., 2018; Wiesmeier et al., 2019). Microbial decomposition of plant, animal cells, and tissues result in the formation of Soil organic matter (SOM) (Singh et al., 2018). Quality and quantity of SOM regulate its decomposition (Dušek et al., 2020). Lack of available atmospheric oxygen in wetlands reduces soil's oxygen rate, which is important for biological and chemical oxidation (Bozkurt et al., 2001; Ulmer, 2002; Reddy, DeLaune, 2008; Duval, Radu, 2018). It has been reported in scientific studies that CH_4 production enhances with increase in soil organic matter concentration. This in turn, allows the potential increase in CH_4 efflux from the soils into the atmosphere (Dušek et al., 2020); water (Crozier, DeLaune, 1996) and rice fields (Annisa et al., 2017) have such type of condition. Methane emission in wetland is also regulated by the presence of vegetation in it (Turetsky et al., 2014). The major biological processes like photosynthesis and decomposition, and accumulated plant biomass are the major sources of carbon compounds which acts as the nutrient for the process of methanogenesis which ultimately leads to CH_4 production (Updegraff et al., 1995; Ström et al., 2012). Vegetation helps in the transport of oxygen via aerenchyma into anoxic soil layers also bypasses oxic soil layers which support rhizosphere CH_4 oxidation (Schimel, 1995; King et al., 1998).

2. Methanobiology

2.1. Methane-producing bacteria

Methanogens are obligate CH_4 -producing Archaea and can't survive in an aerobic environment. Anaerobic respiration culminates in methanogenesis, the final step in the food chain (Figure 1) (Deppenmeier et al., 2002; Hedderich, Whitman, 2006). The methanogens are a single, ancient, monophyletic descendent within the phylum Euryarcheota. There are 3 classes, 6 orders, 12 families, and 35 genera to describe these organisms (Nazaries et al., 2013; Gu et al., 2022). The rice cluster I (RC-I) of methanogens was discovered by culture-independent methods in rice roots (Großkopf et al., 1998; Lueders et al., 2001; Nazaries et al., 2013). Although RC-I is primarily found in tropical forests, its members can be found in a variety of other ecosystems. Genetic analysis of 16S rRNA and *mcrA* (encoding methyl-coenzyme M reductase) revealed that these organisms belong to different clades of the Methanomicrobiales and Methanosarcinales radiation (Großkopf et al., 1998; Lueders et al., 2001; Nazaries et al., 2013). A new order, Methanocellales, was recently established after RC-I members were isolated in pure culture (Sakai et al., 2007). Also, the Methanoregulaceae family was established within the Methanomicrobiales order to include the newly described *Methanoregula*, *Methanosphaerula*, and *Methanolinae* (Großkopf et al., 1998; Lueders et al., 2001; Nazaries et al., 2013).

Although methanogens tend to thrive in moderate temperatures, some methanogen genera can thrive in much more extreme conditions, such as hot springs, hypersaline deposits, and marine geothermal sediments. The major substrates for methanogenesis, acetate, formate, hydrogen (H_2), and carbon dioxide (CO_2), are produced by syntrophic bacteria through the fermentation of simple sugars and fatty acids that are broken down by methanogens into the environment by other anaerobes. When methanogens efficiently use H_2 and formate, they are merged by such a syntrophic consortium that includes acetogens (acetate-producing bacteria) (Stams, 1994; Stams, Plugge, 2009).

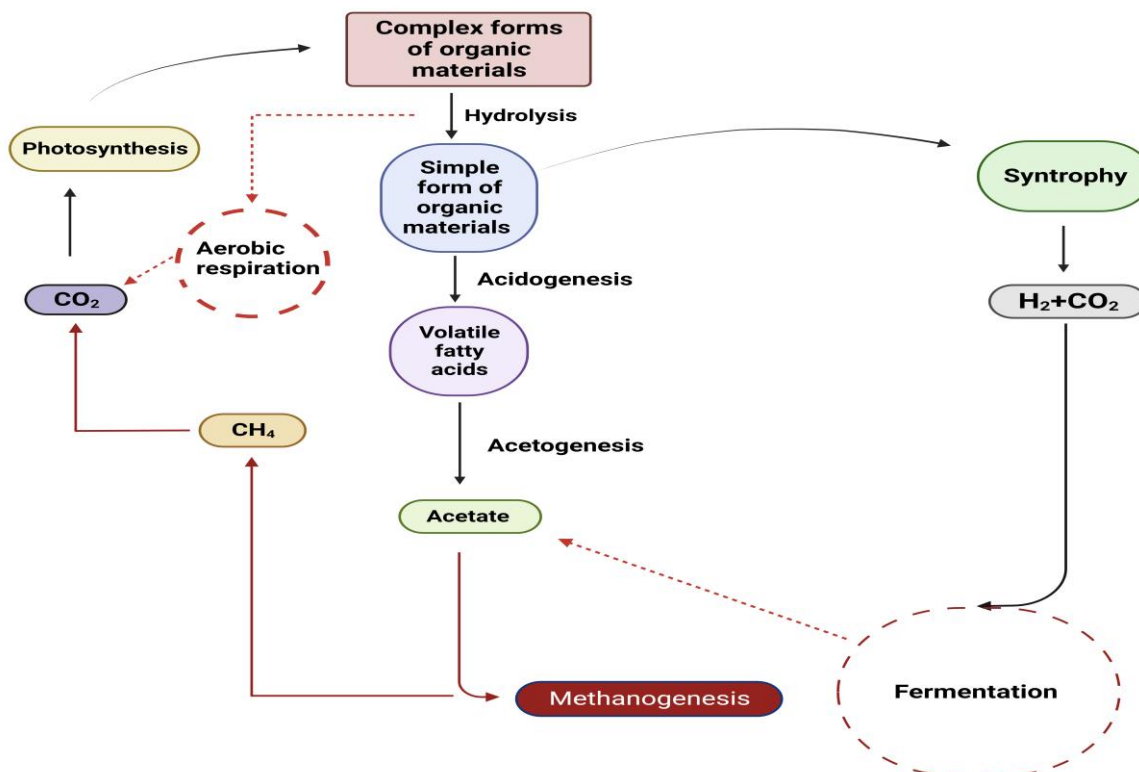


Fig. 1. A biological cycle of natural CH_4 production. The diagrammatic representation shows CH_4 formation through different raw materials in aerobic respiration and fermentation conditions

Due to their need for H₂ as an electron donor and concomitant necessity for intimate interactions with H₂-producing bacteria, most methanogens are H₂-consumers (Stams, 1994; Stams, Plugge, 2009; Renssen et al., 2018).

2.2. Methane formation pathways and key enzymes

The final steps of CH₄ production are similar across the three pathways (Figure 1), despite the fact that the intermediates and enzymatic reactions are distinct for each. A carrier-bound methyl intermediate is formed in both the hydrogenotrophic and acetoclastic pathways (Ferry, 2010; Nath et al., 2021). In the hydrogenotrophic pathway, the carrier protein is H₄MPT; in the acetoclastic pathway, the carrier protein is tetrahydrosarcinapterin (H₄SPT), a derivative of H₄MPT. Methyl-CoM is reduced to CH₄ by the key enzyme methyl-coenzyme M reductase (MCR), and all three pathways require a specific, membrane-bound methyltransferase (MTR) to transfer the methyl group to CoM (Thauer, 1998; Nath et al., 2021). The active site of MCR is a porphyrinoid nickel (Ni) complex called coenzyme F₄₃₀, which is contained within a dimer of the three subunits a (McrA), b (McrB), and g (McrG) (Nagle, Wolfe, 1983; Zhou et al., 2013). The enzyme appears to have a molecular mass of around 300 kDa, isolated two isoenzymes of methyl-CoM reductase. Methyl reductase two (MRT), also known as methyl reductase, is an enzyme with a unique substrate affinity (Bonacker et al., 1993; Nolling et al., 1995). The *mcrBDCGA* operon encodes MCR activity, while the *mrtBDGA* operon encodes MRT (Thauer, 1998). The *mrt* operon lacks a gene that would normally be located in the *mcrC* locus (Pihl et al., 1994; Nolling et al., 1995). All three proteins encoded by the *mcrC*, *mcrD*, and *mrtD* genes have molecular masses smaller than 20 kilodaltons the reason for this is still a mystery (Reeve et al., 1997; Lever, 2016).

Signal transduction pathways and primary sensors are still poorly understood. Nonetheless, there was proof that the availability of trace elements acted as a regulator (Hedderich, Whitman, 2006). This is because the active site of numerous methanogenesis enzymes includes trace metals (such as molybdenum, tungsten, selenium, and nickel). It was discovered that the production of key enzymes in methanogenesis, such as MRC, is controlled by the availability of the substrate H₂. Isoenzyme I of CH₄ Carbon Reductase (MCR) is highly expressed under H₂-limiting conditions, while isoenzyme II (MCR) is expressed at lower levels (Hedderich, Whitman, 2006). Methanogens' gene expression regulation is poorly understood and requires more research.

2.3. Methane oxidizing methanotrophs

Methanotrophs are gram-negative aerobic bacteria that can exclusively consume methanol or CH₄ as a source of carbon (C) and energy. These organisms, known as methanotrophs, may be found in the anoxic/oxic boundary of many different ecosystems, such as sediments, soils, peat bogs, wetlands, and geothermal reservoirs. Here, they absorb the CH₄ generated by methanogenesis and lower its emissions. (Whalen et al., 1990). These methanotrophs, also known as low-affinity methanotrophs, are able to oxidise extremely high CH₄ (> 100 ppm) concentrations, and many of them are amenable to laboratory cultivation. High-affinity methanotrophs, on the other hand, can oxidise CH₄ even at atmospheric (low) levels (1.8 ppm) (Bender, Conrad, 1992). Although they have been identified in upland soils through molecular and biochemical technique, they have not yet been cultivated (Bender, Conrad, 1992; Lueders et al., 2001). The cultivable methanotrophs (type II and type I) are distantly related to these high-affinity methanotrophs (Pol et al., 2007; Hwang et al., 2008; D'Ambrosio, Harrison, 2022). The carbon and energy need of the vast majority of aerobic methanotrophs are met entirely by CH₄ (obligate methanotrophs). There are also facultative methanotrophs, which can develop on a variety of carbon sources (see below). Most existing aerobic methanotrophs are mesophiles (pH 6.0-8.0) and neutrophiles (pH 6.0-8.0) (Whittenbury et al., 1970). However, numerous methanotroph species have been uncovered in environments with extremely high or low temperatures, pH, or salinity (Op den Camp et al., 2009). Only two phyla, three orders, and four families of aerobic methanotrophs have been identified so far. Exactly 56 species, representing 21 different genera, have been recorded so far. Existing CH₄-oxidizing bacteria have traditionally been split into two groups, type I and type II, according to morphological, physiological, and genetic differences. Now classify them as either Gammaproteobacteria or Alphaproteobacteria. Type I methanotrophs, or gammaproteobacterial methanotrophs, are members of the family *Methylococcaceae* within the Gammaproteobacteria. In this context, we refer to type II methanotrophs (Alphaproteobacteria) as belonging to either the *Methylocystaceae* or the *Beijerinckiaceae* (Op den Camp et al., 2009). Two new *Methylomonas* species, *M. paludis* and *M. koyamae*, as well as the genera *Methylovulum* and *Methylomarinum*,

were recently added to the *Methylococcaceae* (Op den Camp et al., 2009). In addition, *Clonothrix* and *Crenothrix*, two genera of filamentous methanotrophs, are found (Stoecker et al., 2006). Despite being classified as gammaproteobacteria in studies based on 16S rRNA, when compared to other methanotrophs, *Crenothrix* has a highly diverged *pmoA* gene (encoding for a key polypeptide of pMMO) (Stoecker et al., 2006; Krajewska-Włodarczyk, Owczarczyk-Saczonek, 2022). Recent microbiological discoveries have added to our understanding of the evolutionary history of alphaproteobacterial methanotrophs by naming the genus *Methyloferula* and the family *Methylocystaceae* as the newest members of this group (Vorobev et al., 2011; Belova et al., 2013). Finally, three CH₄-oxidizing bacterial species isolated from geothermal environments in Italy, New Zealand, and Russia were recently identified and placed in the *Methylacidiphilum* genus of the *Methylacidiphilales* order (Dunfield et al., 2007). Methanotrophic verrucomicrobia are a distinct group of methanotrophs due to their ability to thrive in low-Ph environments, despite sharing many features with methanotrophic proteobacteria, especially alphaproteobacterial methanotrophs (Dunfield et al., 2007). Verrucomicrobial methanotrophs have been demonstrated to be able to utilize CO₂ as their only carbon source while converting CH₄ to energy (Hou et al., 2008; Khadem et al., 2010). Recent studies have uncovered more information regarding the biochemistry, physiology, and genetics of CH₄ oxidation by this group. Archaea and the Deltaproteobacteria genus members *Desulfosarcina* and *Desulfococcus* work closely together to carry out the anaerobic oxidation of CH₄ (Khadem et al., 2010). Sulfate is used as an electron acceptor in anaerobic methanogenesis (AOM) to oxidise CH₄ (Hou et al., 2008). The methanogenic Archaea (*Methanosarcinales* and *Methanomicrobiales*) and the three main groups of AMNE Archaea (ANME-1, ANME-2, and ANME-3) are all closely linked. According to a recent study, despite being considered of as obligatory methanotrophs, the ANME-1 group's contribution to the global CH₄ budget should be reevaluated since these organisms may switch to methanogenesis in sediments that produced CH₄. AOM related to denitrification was described from enriched cultures. In instance, the bacteria *Methylomirabilis oxyfera* can generate its own source of oxygen by anaerobically reducing nitrite through a unique intra-aerobic mechanism. Overall, even modest quantities of oxygen inhibit this organism (2-8 %) (Raghoebarsing et al., 2006; Hou et al., 2008). Despite the lack of an apparent intracytoplasmic membrane system, this recently discovered anaerobic denitrifying methanotroph uses a conventional aerobic methanotrophic mechanism to oxidise CH₄, as shown by genomic analysis. It has been discovered that AOM in marine environments requires both manganese and iron in addition to sulphate and nitrite as electron acceptors (Hou et al., 2008).

2.4. Methane Oxidation

Methane monooxygenase (MMO) is an enzyme that catalyses the aerobic oxidation of CH₄, two distinct forms of MMO: soluble (sMMO) and membrane-bound (pMMO) (Hansen, Hansen, 1996; Fatma et al., 2019). The reaction that these two enzymes catalyse is identical, but their mechanisms and evolutionary histories are very different (Ferry, 2010). Methanol dehydrogenase is responsible for converting CH₄ into methanol and then forming formaldehyde (MDH). Formaldehyde is crucial to methanotroph metabolism. Whittenbury and colleagues (1970) utilized two alternative assimilation methods to categorize methanotrophs as type I and type II. Gammaproteobacterial (type I) methanotrophs employ the ribulose monophosphate (RuMP) route, whereas alphaproteobacterial (type II) methanotrophs use the serine pathway (Whittenbury et al., 1970). Only 50% of the carbon at the formaldehyde level is incorporated into cellular biomass (Semrau et al., 2008). The rest is transformed into formate and subsequently into CO₂ to produce reducing power for the first oxidation of CH₄, biosynthetic processes, and energy production. As a third mechanism for carbon absorption, certain verrucomicrobial methanotrophs fix CO₂ through the Calvin-Benson-Bassham (CBB) cycle. No information exists about whether or not naturally occurring methanotrophs (*Methylocaldum*, *Methylococcus*, *Methylogaea*) use the CBB pathway (Semrau et al., 2008).

However, sMMO and pMMO use different electron donor/acceptor systems to oxidize CH₄ (Op den Camp et al., 2009). sMMO is an extremely flexible enzyme that can oxidize a wide variety of alkanes, aliphatics, and aromatic compounds (Op den Camp et al., 2009; Borrel et al., 2016). All methanotrophs, with the exception of *Methylocella* and *Methyloferula* spp., produce CH₄ using pMMO (D'Ambrosio, Harrison, 2022). Many methanotrophs, including those in the genera *Methylomonas*, *Methylomicrobium*, *Methylouvulum*, *Methylococcus*, *Methylocystis*, and

Methylosinus, contain both pMMO and sMMO. Species of *Methylocella* and *Methyloferula*, which use sMMO to grow on CH₄, are facultative methanotrophs that can Obligatory methanotrophy is an unusual metabolic strategy, but its evolutionary roots are unclear (Belova et al., 2013). Other facultative alphaproteobacterial methanotrophs, such as *Methylocapsa aurea* and *M. thermophila*, have been isolated in recent years. *Methylocystis* strain SB2 and the *bryophila* species. Like *Methylocella*, the microorganisms belong to the family *Beijerinckiaceae* and thrive in acidic soils (Im, Semrau, 2011; Belova et al., 2013; Jagadevan, Semrau, 2013). An entire list of recognized facultative methanotrophs, absorption processes for acetate, and ecological applications were identified by various researchers in the past few years (Anderson, Mccarty, 1997; Im et al., 2011; Yoon et al., 2011; Jagadevan, Semrau, 2013).

3. Factors for affecting methane emission

3.1. Hydrology

For studying wetland dynamics, the availability of water is critical. During the growth season, the flooded region would either continuously or intermittently at mean water levels of 6.6 feet or the surface would be having wet soil (Upadhyay et al., 2017). The rate of anaerobic respiration including methanogenesis, iron reduction, denitrification, and sulphate reduction is higher in wet habitats, such as flooded wetlands and aquatic wetlands than aerobic respiration, including nitrification. Oxygen gets depleted in a wetland due to continuous water saturation, causing the microbial community to shift its energy sources to different substrates. Both wet and dry periods occur in the wetland. During dry conditions, oxygen allows the aerobic pathways to work and release energy; in wet conditions, energy is released by anaerobic routes like denitrification.

3.2. Temperature

Temperature is the most crucial factor influencing methanogen activity and the rate of CH₄ emissions (Chin, Conrad, 1995; Liu, Wu, 2004). In CH₄ flow, seasonal and diurnal fluctuations both are positively associated with temperature (Schutz et al., 1989). The ideal temperature for the bulk of methanogens' functioning is between 30 °C and 40 °C (Chamarthi et al., 2011). As the temperature rises from 20-25 °C, CH₄ formation doubles and a 10 °C rise in the temperature leads to a rise in the production of CH₄ by a proportion of 2.5-3.5 (Schutz et al., 1989). As the soil temperature rises, the number of methanogenic bacteria grows slowly. Several studies have linked changes in soil temperature to CH₄ emissions throughout the growing season (Schutz et al., 1989; Tanaka et al., 2006). Methanogenesis has been seen at maxima of three seasons: the first immediately after floods, the second in the growing vegetative phase of plants, and the third is while the maturation and filling of grains. Emission of CH₄ was positively associated with the temperature of soil ($R^2 = 0.281$, $p < 0.05$) and methanogen population with a change in CH₄ flow ($R^2 = 0.82$, $p < 0.05$) in a paddy field that was inundated with N treatment by urea (Zhao et al., 2021).

The rate of CH₄ generation was lowered and the organic material breakdown pathway was altered when the optimum temperature of incubating methanogenic rice soil was decreased from 30 °C to 15 °C. Reduced causes build-up of acetate, lactate, isopropanol, and caproate by lowering the partial pressure of H₂ in steady-state (Chin, Conrad, 1995). Acetate becomes a more essential methanogenic substrate at lower temperatures. This permits the rapid growth of *acetoclastic Methanosarcinaceae*, but on increasing temperatures, fewer acetate concentrations encourage more adapted but slow-developing *Methanosaetaceae* (Chin et al., 1999). The richness of *crenarchaeota* was revealed when anoxic soils of rice fields were incubated for 1 week at 30 °C, but it took further two weeks to raise the relative abundance of *Methanosarcinaceae* (Chin et al., 1999). In a limited population of acetolactic methanogens, methanogenesis was inhibited significantly on incubating rice field soil at 50 °C shortly. A major shift in the microbial population of methanogens was generated on extended incubation at 50 °C which led to CH₄ synthesis from H₂/CO₂ with an increase in Rice cluster I methanogens (Fey et al., 2001).

4. Sources of methane emission

4.1. Wetlands

Wetland cannot be defined easily and is quite complex because wetlands have diverse biotic (for example plants, microbes, animals) and abiotic (for example water, light, radiation, temperature, humidity, atmosphere, acidity, and soil) components (Smardon, 2014). A wetland is

an area where water surrounds the land. Examples of wetlands are ponds, marshes, the edge of a lake or ocean and delta at the mouth of a river, low-lying areas that frequently flood.

Marsh plant photosynthesis plays a significant part in the sequestration of carbon, which begins to build up in plant biomass and wetland soil (Kayranli et al., 2009). Plant growth in wetlands is higher than in terrestrial habitats, although the rate of breakdown is slower (Sun, Liu, 2007). In general, relative to terrestrial ecosystems, wetland ecosystems exhibit rapid plant growth and slower rates of decomposition, both of which promote carbon storage (Sun, Liu, 2007). Wetlands' water tables significantly affect the oxidation and reduction processes, which in turn affect carbon emissions, and in wetlands, the amount of organic matter and redox potential is high (Limpert et al., 2020). The ability of soil carbon to be remineralized by a variety of microbial activities that control carbon storage and release can be facilitated by a change in water level (Olefeldt et al., 2017). This anaerobic condition is most favorable for the multiplication of methanogenic microorganisms in the soil. CH_4 -producing microorganisms are called methanogenic archaea or simply methanogens, and this biological process of CH_4 formation is known as methanogenesis (Cadena et al., 2019). Methanogens are mainly grown where oxygen availability is limited or absent and wetlands are among those places. Methanogens also use CH_4 as a terminal electron acceptor in the metabolic process; the end product of the metabolic reaction is some toxic carbon compound (Bhatla, Lal, 2018). The CH_4 released from wetland to the atmosphere depends on the combined metabolic activities of methanogenic and methanotrophic microbes in the soil (Bhatla, Lal, 2018). In wetlands, CH_4 efflux occurs in the atmosphere through plant aerenchyma, ebullition, and diffusion (Figure 2) (Limpert et al., 2020).

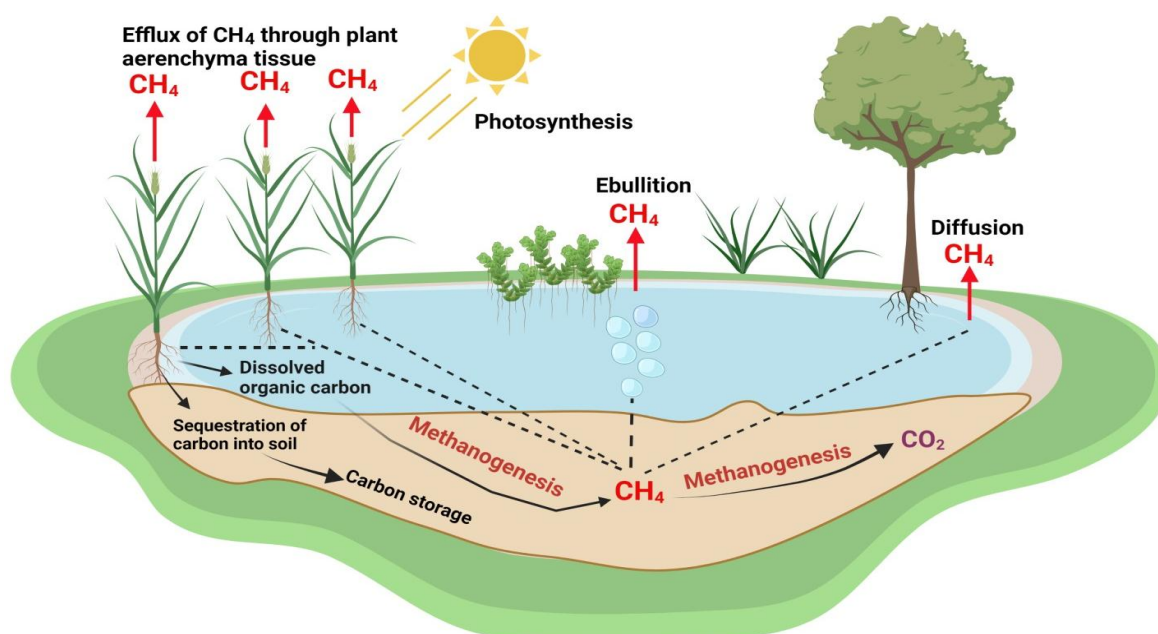


Fig. 2. Biogeochemical cycle of CH_4 emission and formation influences the water table, temperature, and vegetation

Due to the constant waterlogging providing ideal conditions for methanogenic microorganisms, wetland ecosystems are the most prolific natural sources of CH_4 . Wetlands produce 20-39 % of all atmospheric CH_4 , and their contribution could rise by as much as 50-80 % as the planet warms, according to various estimates (He et al., 2015; Koffi et al., 2020). According to the recent reports of NASA, the rates of CH_4 production in atmosphere is 1.7 ppm which vary considerably according to factors such as wetland and vegetation type, acidity, organic matter content, mineral composition, and climate (Kharitonov et al., 2021).

The ability of freshwater wetlands to absorb and store organic carbon has attracted the attention of both government and industry in recent decades due to rising temperatures caused by anthropogenic carbon emissions (Bernal, Mitsch, 2013). In freshwater wetlands, carbon storage and release dynamics can vary depending on environmental factors, making their quantification a

challenging task. Carbon is more easily stored in wetland ecosystems due to their faster plant growth and slower decomposition rates (Ramasamy et al., 2009; D'Ambrosio, Harrison, 2022). CH₄ is a potent greenhouse gas with a radiative forcing that is 87 times stronger than carbon dioxide (CO₂) over 20 years, although it can be produced in more significant amounts under anaerobic marsh conditions (Lever, 2016). However, a lot of freshwater wetlands act as net yearly carbon sinks (Bräuer et al., 2020). Multiple processes and pathways contribute to the equilibrium between carbon sinks and sources in wetland ecosystems. Due to the following factors affecting soil carbon cycling, wetlands have the potential to store significant amounts of soil organic carbon: (1) inundated soils that restrict oxygen (O₂) diffusion into sediment; (2) anaerobic conditions brought on by higher water levels that reduce decomposition rates in comparison to aerobic soils; and (3) the relative decrease in remineralization.

Numerous studies have shown that temperature and water level significantly impact the community and activity of methanogens and methanotrophs in peatlands (Jaatinen et al., 2007; Turetsky et al., 2008; Yrjälä et al., 2011; Peltoniemi et al., 2016). Predicting how warming in different moisture regimes would impact the population and activity of methanogenic and methanotrophic groups is tricky (Peltoniemi et al., 2016). The investigation of 16S-rRNA revealed specific features of the localisation of methanogens and methanotrophs inside a wetland biocenosis (Deppenmeier et al., 2002). Methanogens were more common in sample locations with higher CH₄ production, and their abundance was inversely connected with that of bacteria that reduce nitrate, sulphate, and metals. Microbial phylogeny based on marker genes and quantitative analysis of data collected by shotgun sequencing gave us more insights into the competitive interactions between methanogens and other anaerobic microbes. Anaerobic competitors have been shown to suppress methanogenesis (Krüger et al., 2005).

4.2. Soil

Cell counts in soil samples showed that methanogens and methanotrophs can live together in harmony (Dalal et al., 2008). Due to the coupling of methanogenesis and methanotrophy in aerated soils as well as the great sensitivity of the microorganisms driving these processes to environmental circumstances, there is temporal and geographical variability in the emission or consumption of CH₄ in soils. This fact must be considered when calculating the relative importance of different soil ecosystems in the CH₄ cycle (Semenov et al., 2010). Soil water regime, organic carbon, and total nitrogen are critically important to methanogenesis and methanotrophy (Semenov et al., 2019). Both microbial processes are slowed down by extremely dry soil (Strieg et al., 1992; Bender, Conrad, 1995; Brandt et al., 2015). CH₄ oxidation is inhibited by 1.2-1.3 times when soil moisture is reduced by 10 %, possibly as a result of moisture deficit stress or the accumulation of mineral nitrogen compounds in the soil (Boeckx et al., 1997). Because the size of the soil's aerobic zones is diminished by waterlogging, methanogens thrive and methanotroph populations decline. Maximum CH₄ oxidation rates have been found at moderate moisture in all soil types studied (Torn, Harte, 1996). Lower water table levels increase the CH₄ oxidation rate and, consequently, decrease the CH₄ emission rate of CH₄ oxidation and, consequently, decrease the CH₄ emission rate from the soil (Moore, Dalva, 1993). This negative logarithmic correlation has been observed for a wide range of water table depths. It was found that the CH₄ production rate increased by 12 times in the sites inundated with water as compared to sites where the water level was only 5 centimeters below the soil surface in the Arctic coastal plains (Morrissey, Livingston, 1992). These findings made sense, as a lower water table level is linked to more oxidative conditions in the soil's upper layers and promotes the diffusion of atmospheric oxygen and CH₄ to the soil. Very low soil moisture conditions also drastically reduce the rate of CH₄ oxidation (Morrissey, Livingston, 1992).

The climate in which a given microorganism thrives directly affects a direct bearing on the conditions under which it can most efficiently produce CH₄. This is supported by the fact that, as one travels southward from the north, the optimum temperature rises from 19 °C to 38 °C (Sabrekov et al., 2017). Due to decreased activity of methanogens and other microbial groups comprising the methanogenic community, the rate of CH₄ production slows down at low soil temperatures. Compared to methanogens, methanotrophs appear to be temperature insensitive. It is unclear how soil temperature affects the rate at which CH₄ is oxidized. A definite link between these factors may be seen at temperatures more than or equal to 10 °C or lower than or equal to 40

°C, likely because the activity of mesophilic methanotrophs decreases at these extremes (Castro et al., 1995; Hanson, Hanson, 1996; Semrau et al., 2010).

Because there is no information on the separation of acidophilic methanogens, the prevailing belief that methanogen activity is highest in soil at neutral or slightly alkaline pH and is particularly sensitive to changes in pH values has prevailed (Dalal et al., 2008). Methanogenesis and CH₄ emissions in acidic oligotrophic and mesotrophic bogs and lakes are geographically varied, but not considerably so, according to microbial community adaptations to local average pH (Casper et al., 2003; Horn et al., 2003; Glagolev et al., 2012; Sabrekov et al., 2013).

4.3. Paddy fields

In the world, rice is the largest growing wetland food crop. Rice is one of the most important staple foods worldwide and model species for cereals. *Oryza sativa* (Asian rice) or *Oryza glaberrima* (African rice) are the most cultivated rice. Maize (*Zea mays*) and wheat (*Triticum*) provide more than 50 % of all human calories. The world's annual rice production should have increased from 538 million tons in 1994 to 755 million tons in 2019 (The State of Food and Agriculture 2019 | FAO | Food and Agriculture Organization of the United Nations). Rice-cultivated lands are classified as deepwater, irrigated, and rain-fed upland. A flood-like situation is required in the rice field, so the paddy field requires more water for their growth and development (Singh et al., 2018). Wetland rice field is a seasonal agricultural wetland that is covered with water from sowing to ripening before the harvesting, and the requirement of water depends on growing conditions, especially water availability and solar radiation, normally short-duration varieties take 100–120 days; medium duration 120–140 days, and long duration 160 days (Figure 3) (Wang et al., 2011). Due to flood like conditions in the field from sowing to before the harvesting the diffusion of atmospheric oxygen into the soil drastically reduces. The soil redox potential shows chemical and biochemical oxidations, and reductions in the soil and the greater value of redox potential shows the higher presence of potent oxidizing agents in soil.

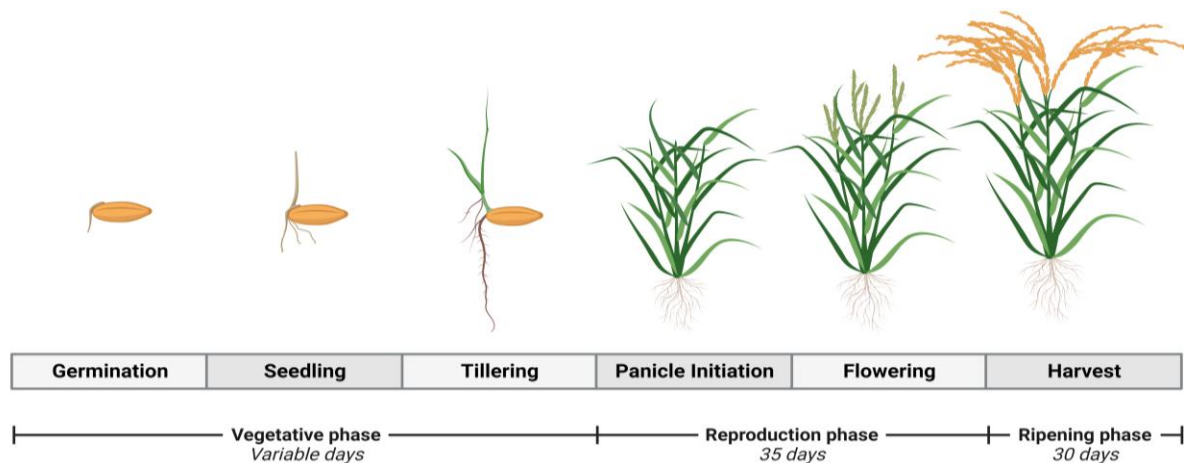


Fig. 3. Life cycle of rice paddy from germination to ripening phase. The germination and ripening days depend on a variety of rice genotypes and climates.

In anaerobic soil conditions, organic matter is degraded by various fermenting microorganisms, mostly bacteria that produce CH₄ (Smartt et al., 2016). This produced CH₄ in rice wetland soil is released into the atmosphere through the diffusion or ebullition of gas bubbles through the aerenchyma tissue of the root of the rice plant (Figure 4) (Hasan, 2013; Bhatla, Lal, 2018). CH₄ emission is directly proportional to plant biomass (Gogoi et al., 2008).

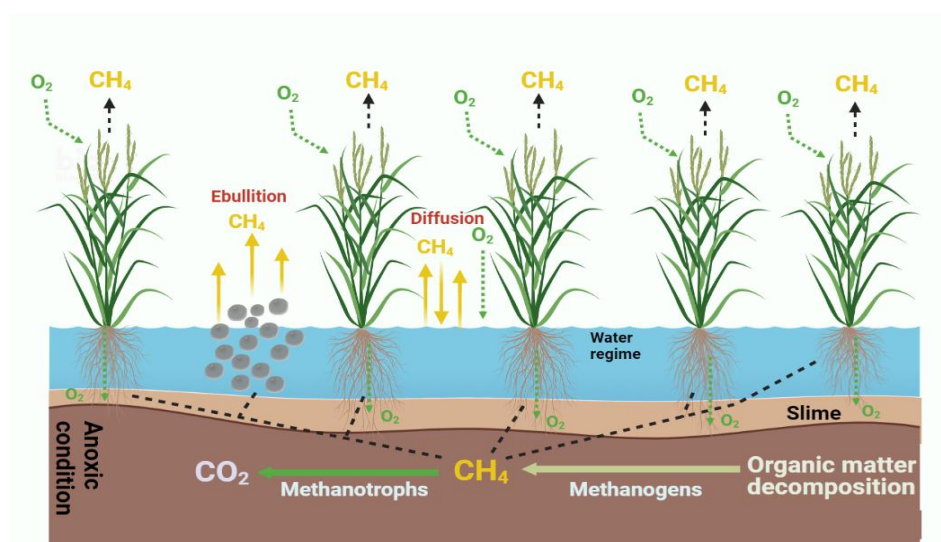


Fig. 4. Methanogens activity forms CH_4 formation in rice fields due to the decomposition of organic matter in anoxic condition. The produced CH_4 in rice wetland soil is released into the atmosphere through the diffusion or ebullition of gas bubbles through the aerenchyma tissue of the root of rice plant.

Rice fields account for 20 % of agricultural CH_4 emissions (Schütz et al., 1990; Datta et al., 2013; Ke et al., 2014; Qi et al., 2021). Fertilizers, soil temperature, redox potential, soil texture, pH, soil organic matter concentration, and soil all play a part in determining the structure of methanogenic and methanotrophic microbial communities in rice fields (Bhatia et al., 2011). The processes of CH_4 emission are affected by management practices such as rice cultivar, fertilizer application, water management, and pesticide application (Smith et al., 2010; Gutierrez et al., 2013; Ke et al., 2014; Jiang et al., 2015; Liang et al., 2016). The same applies to daily and seasonal changes, high ozone, and high CO_2 (Smith et al., 2010). A relationship between CH_4 emission and the makeup of the microbial community has been found for the rice field before its exploitation, at the time of the rice planting, and on day 120 of its growth before maturation (Knief et al., 2011). The examination of 16S rRNA sequences by RT-PCR revealed that methanogens from the genera *Methanosaeta*, *Methanocella*, *Methanosarcina*, and *Methanobacterium* made up between 68.3 % and 86.6 % of the total number of archaea in the microbial community inhabited the rice field (Anesti et al., 2005). On day 90 of the experiment, the abundance of methanogens was at its highest, having increased steadily throughout rice maturity (Brune et al., 2000). Methanotrophs made up only 0.79-1.75 percent of all 16S rRNA gene sequences, making up a much smaller percentage of the microbial community overall. Different patterns of population growth and decline were observed among the various methanotrophic representatives. After the rice was planted, there was a significant drop in the population of *Methylocystis* (type II methanotrophs), while the populations of *Methylosinus* and unclassified type II methanotrophs remained relatively stable. Before rice was sown and during its early stages of growth, type I methanotrophs (genera *Methylocaldum*, *Methylobacter*, *Methyломonas*, and *Methylosarcina*) were rarely detected. However, a peak in the population of all of the aforementioned methanotrophs has been observed between days 90 and 120 of rice development. Meanwhile, anaerobic methanotrophs were scarce, making up only 0.25-3.27 percent of the total 16S rRNA gene sequences, indicating a minor contribution from this process to the rice field soil. A ratio of *mrcA* to *pmoA* emerged as a potential parameter in a multi-factor model for predicting the precise amount of CH_4 released from a rice field.

5 Emerging technologies for management of CH_4 emission from different sources

5.1. Application of Biochar for reduction of CH_4 in rice field

Biochar has been identified as a key player in lowering greenhouse gas emissions from agricultural soils, enhancing pesticide sorption and desorption, reducing leaching loss of nutrients, enhancing soil fertility, and enhancing plant growth and crop yield (Peng et al., 2004). In Eastern Colombian Plains, it has been found that biochar has the potential to fully suppress the CH_4 emission in the soil when amended (20 g kg^{-1}) (Peng et al., 2004). Paddy field soil amendment

with bamboo and straw charcoal reduces CH₄ emissions by 51 % and 91.2 %, respectively, compared to control (Liu et al., 2011). Biochar reduces the CH₄ emission by retarding the methanogenic activity or stimulation of methylo-trophic activity during incubation. Reduced CO₂ emissions have also been seen in rice fields with biochar addition (Nan et al., 2021). In addition, using biochar made from mango trees resulted in a net decrease in yearly CH₄ emissions and increased soil carbon from non-fertile tropical soil (Shen et al., 2021). The biochar's physicochemical properties regulate biochar's counteraction against CH₄ emissions from paddy fields, soils, microbiological considerations, and water and nutrients management (Chen et al., 2017). Among these, soil pH is one of the most critical factors that affect rate of CH₄ emission from field of rice. Near-neutral pH methanogenic archaea seek (6.5–7.5). Because of this, they are adding bamboo char (pH 9.81) or straw char (pH 10.2) may inhibit the process of CH₄ production and, as a result, the release of CO₂ from the same field. Additionally, slower mineralization rates in soil amended with biochar was obtained due to a higher C/N ratio, which might also retain microbial biomass. Therefore, instead of utilizing straw directly, you may turn it into biochar to reduce CH₄ emissions. Before utilizing this input as a greenhouse gas mitigation approach, it is also necessary to take into account the type of biochar, the local soil quality, and environmental conditions.

5.2. Use nanoparticle base fertilizers

Crop production and bacterial community structure are believed to be primarily influenced by soil organic carbon, accessible NPK, and micronutrients (Smartt et al., 2016). The reactions of several functional microorganisms, including as denitrifiers, methanotrophs, and diazotrophic bacteria, to fertilisation in paddy soil have received attention from some researchers (Aronson et al., 2013). According to reports, paddy fields' long-term fertilization has a considerable impact on the number of diazotrophs and methanotrophs that live freely (Ferry, 2010). Although certain mineral fertilisers have been used, they have helped reduce CH₄ emission from paddy fields, but there is no apparent pattern to them, and different outcomes have been observed. Nitrate, sulphate, and ferric iron favour the corresponding methanogenesis-suppressing nitrate reducers, sulphate reducers, and iron reducers, which successfully compete for the methanogenic substrates.

One of the potential factors causally related to the greenhouse emission in wetlands is attributed to the use of nitrogenous fertilizers (He et al., 2019). Nitrogenous fertilizers are vulnerable for the loss of N due to leaching, volatilization, and immobilization that collectively contribute up to 60%. In order to reduce the loss of N and improve the N use efficiency, nano-fertilizers hold a promise and the benefits of nano-fertilizers have been reviewed (Zulfiqar et al., 2019). Since > 95 % of the Indian soils are deficient in N and the N use efficiency of crops hardly exceeds 30-35%, nano-fertilizers may be ideal for Indian soils to improve the use efficiency while minimizing the greenhouse gas emissions (Conrad et al., 2006). Due to their large surface area, nanofertilizers can retain a large number of nutrient ions and release them gradually and steadily according to the needs of the crop. In order to increase the effectiveness of nutrient utilisation while avoiding nutrient ions from becoming fixed or lost to the environment (Davamani et al., 2020) stated that nano-fertilizers and nanocomposites may be utilised to manage the release of nutrients from fertiliser granules. Nanofertilizers efficiently and with little loss transfer nutrients to rhizospheric targets. Nano-membrane-coated fertiliser particles that enable a gradual release of nutrients. This procedure increases the efficiency with which crops utilise fertiliser while reducing nitrogen loss. It is well known that nano-composites provide plants with all necessary nutrients to achieve balanced fertilisation. Because of their mesoporous structures' capacity to adsorb molecules at relatively low pressure, zeolites are promising adsorbents. They have a long history of usage in the industrial sector as adsorbents, and another intriguing feature of zeolites for the creation of nitrogen nano-fertilizer is the availability of internal space volume (Davamani et al., 2020). The zeolite-based nano-fertilizers are known to increase the efficiency of using macro- and micronutrients (Amira et al., 2015; Kah et al., 2018; Ha et al., 2019; Iqbal, 2019; Rajput et al., 2020, 2021; Zulfiqar and Ashraf, 2021; Verma et al., 2022). It is hypothesized that using nano-fertilizers helps to slow down the release of nitrate and ammoniacal nitrogen, improving rice's ability to utilize nitrogen while lowering the emissions of greenhouse gases.

6. Conclusion

The production and emission of CH₄ from wetlands and paddy fields is affected by a wide range of factors, such as climate, soil physicochemical properties, and cultural practises. The 140

million hectares of rice fields harvested yearly are subject to a wide range of environmental factors, making it impossible to employ uniform approaches to lowering CH₄ emissions. CH₄ emission from water-logged wetlands and paddy fields can be reduced through the implementation of one or more mitigation strategies, such as the management of organic inputs in soil, the prudent use of nitrogen fertiliser, enhanced irrigation practices, the use of improved crop cultivars, and so on. Understanding methanobiology is much more important for better knowledge of the mode of action of CH₄-production microbes in different environments. This scientific knowledge may help in development of more scientific technologies that help manage CH₄ emissions.

Author Contributions: Authors AS, KG, HSM, ATM, AT, NC, RS, SA write the original draft and AS, KG, HSM, ATM, AT, NC, RS, SA, OS and UPS edit and finalize the manuscript. All authors read and agree for submission of manuscript to the journal.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

- Anderson, Mccarty, 1997 – Anderson, J.E., Mccarty, P.L. (1997). Transformation yields of chlorinated ethenes by a methanotrophic mixed culture expressing particulate methane monooxygenase. *Appl. Environ. Microbiol.* 63: 687-693. DOI: 10.1128/AEM.63.2.687-693.1997
- Anesti et al., 2005 – Anesti, V., McDonald, I.R., Ramaswamy, M., Wade, W.G., Kelly, D.P., Wood, A.P. (2005). Isolation and molecular detection of methylotrophic bacteria occurring in the human mouth. *Environ. Microbiol.* 7: 1227-1238. DOI: 10.1111/J.1462-2920.2005.00805.X.
- Annisa et al., 2017 – Annisa, W., Cahyana, D., Syahbuddin, H., Rachman, A. (2017). Laboratory Study of METHANE Flux from Acid Sulphate Soil in South Kalimantan. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 209: 012089. DOI: 10.1088/1757-899X/209/1/012089.
- Aronson et al., 2013 – Aronson, E.L., Allison, S.D., and Helliker, B.R. (2013). Environmental impacts on the diversity of METHANE-cycling microbes and their resultant function. *Front. Microbiol.* 4: 225. DOI: 10.3389/FMICB.2013.00225/ABSTRACT
- Belova et al., 2013 – Belova, S.E., Kulichevskaya, I.S., Bodelier, P.L.E., Dedysh, S.N. (2013). *Methylocystis bryophila* sp. nov., a facultatively methanotrophic bacterium from acidic Sphagnum peat, and emended description of the genus *Methylocystis* (ex Whittenbury et al. 1970) Bowman et al. 1993. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 63: 1096-1104. DOI: 10.1099/ij.s.0.043505-0
- Bender, Conrad, 1992 – Bender, M., Conrad, R. (1992). Kinetics of METHANE oxidation in oxic soils exposed to ambient air or high METHANE mixing ratios. *FEMS Microbiol. Lett.* 101: 261-270. DOI: 10.1111/J.1574-6968.1992.TB05783.X
- Bender, Conrad, 1995 – Bender, M., Conrad, R. (1995). Effect of METHANE concentrations and soil conditions on the induction of METHANE oxidation activity. *Soil Biol. Biochem.* 27: 1517-1527. DOI: 10.1016/0038-0717(95)00104-M
- Bernal, Mitsch, 2013 – Bernal, B., Mitsch, W.J. (2013). Carbon sequestration in freshwater wetlands in Costa Rica and Botswana. *Biogeochem.* 2013 1151 115: 77–93. DOI: 10.1007/S10533-012-9819-8
- Bhatia et al., 2011 – Bhatia, A., Ghosh, A., Kumar, V., Tomer, R., Singh, S. D., Pathak, H. (2011). Effect of elevated tropospheric ozone on METHANE and nitrous oxide emission from rice soil in north India. *Agric. Ecosyst. Environ.* 144: 21-28. DOI: 10.1016/J.AGEE.2011.07.003
- Bhatla, Lal, 2018 – Bhatla, S.C., Lal, M.A. (2018). Plant Physiology, Development and Metabolism. *Plant Physiol. Dev. Metab.* DOI: 10.1007/978-981-13-2023-1
- Boeckx et al., 1997 – Boeckx, P., Van Cleemput, O., Villaralvo, I. (1997). METHANE oxidation in soils with different textures and land use. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 49: 91-95. DOI: 10.1023/A:1009706324386/METRICS
- Bonacker et al., 1993 – Bonacker, L.G., Baudner, S., Mörschel, E., Böcher, R., Thauer, R.K. (1993). Properties of the two isoenzymes of methyl-coenzyme M reductase in *Methanobacterium thermoautotrophicum*. *Eur. J. Biochem.* 217: 587-595. DOI: 10.1111/J.1432-1033.1993.TB18281.X
- Borrel et al., 2016 – Borrel, G., Adam, P.S., Gribaldo, S. (2016). Methanogenesis and the Wood–Ljungdahl Pathway: An Ancient, Versatile, and Fragile Association. *Genome Biol. Evol.* 8: 1706-1711. DOI: 10.1093/GBE/EVW114

- [Bozkurt et al., 2001](#) – Bozkurt, S., Lucisano, M., Moreno, L., Neretnieks, I. (2001). Peat as a potential analogue for the long-term evolution in landfills. *Earth-Science Rev.* 53: 95-147. DOI: 10.1016/S0012-8252(00)00036-2
- [Brandt et al., 2015](#) – Brandt, F.B., Martinson, G.O., Pommerenke, B., Pump, J., Conrad, R. (2015). Drying effects on archaeal community composition and methanogenesis in bromeliad tanks. *FEMS Microbiol. Ecol.* 91: 1-10. DOI: 10.1093/FEMSEC/FIU021
- [Brauer et al., 2020](#) – Bräuer, S.L., Basiliko, N., Siljanen, H.M.P., Zinder, S.H. (2020). Methanogenic archaea in peatlands. *FEMS Microbiol. Lett.* 367. DOI: 10.1093/FEMSLE/FNAA172
- [Brune et al., 2000](#) – Brune, A., Frenzel, P., Cypionka, H. (2000). Life at the oxic-anoxic interface: microbial activities and adaptations. *FEMS Microbiol. Rev.* 24: 691-710. DOI: 10.1111/J.1574-6976.2000.TB00567.X
- [Bubier, Moore, 1994](#) – Bubier, J.L., Moore, T.R. (1994). An ecological perspective on METHANE emissions from northern wetlands. *Trends Ecol. Evol.* 9: 460-464. DOI: 10.1016/0169-5347(94)90309-3
- [Cadena et al., 2019](#) – Cadena, S., Cervantes, F.J., Falcón, L.I., García-Maldonado, J.Q. (2019). The Role of Microorganisms in the METHANE Cycle. *Front. Young Minds* 7. DOI: 10.3389/FRYM.2019.00133
- [Casper et al., 2003](#) – Casper, P., Chan, O.C., Furtado, A.L.S., Adams, D D. (2003). METHANE in an acidic bog lake: The influence of peat in the catchment on the biogeochemistry of METHANE. *Aquat. Sci.* 65: 36-46. DOI: 10.1007/S000270300003/METRICS
- [Castro et al., 1995](#) – Castro, M.S., Steudler, P.A., Melillo, J.M., Aber, J.D., Bowden, R.D. (1995). Factors controlling atmospheric METHANE consumption by temperate forest soils. *Global Biogeochem. Cycles* 9: 1-10. DOI: 10.1029/94GB02651
- [Chamarthi et al., 2011](#) – Chamarthi, S.K., Sharma, H.C., Sahrawat, K.L., Narasu, L.M., Dhillon, M.K. (2011). Physico-chemical mechanisms of resistance to shoot fly, *Atherigona soccata* in sorghum, *Sorghum bicolor*. *J. Appl. Entomol.* DOI: 10.1111/j.1439-0418.2010.01564.x
- [Chen et al., 2017](#) – Chen, M., Wang, D., Yang, F., Xu, X., Xu, N., Cao, X. (2017). Transport and retention of biochar nanoparticles in a paddy soil under environmentally-relevant solution chemistry conditions. *Environ. Pollut.* 230: 540-549. DOI: 10.1016/J.ENVPOL.2017.06.101.
- [Chin, Conrad, 1995](#) – Chin, K.-J., Conrad, R. (1995). Intermediary metabolism in methanogenic paddy soil and the influence of temperature. *FEMS Microbiol. Ecol.* 18: 85-102. DOI: 10.1111/J.1574-6941.1995.TB00166.X
- [Chin et al., 1999](#) – Chin, K.J., Lukow, T., Conrad, R. (1999). Effect of temperature on structure and function of the methanogenic archaeal community in an anoxic rice field soil. *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 2341-2349. DOI: 10.1128/AEM.65.6.2341-2349.1999/ASSET/5AE64121-3530-4A1A-B973-4F4BAF6F345D/ASSETS/GRAPHIC/AM0690038007.JPEG
- [Conrad et al., 2006](#) – Conrad, R., Erkel, C., Liesack, W. (2006). Rice Cluster I methanogens, an important group of Archaea producing greenhouse gas in soil. *Curr. Opin. Biotechnol.* 17: 262-267. DOI: 10.1016/J.COPBIO.2006.04.002
- [Crozier, DeLaune, 1996](#) – Crozier, C.R., DeLaune, R.D. (1996). METHANE production by soils from different Louisiana marsh vegetation types. *Wetl.* 162 16: 121-126. DOI: 10.1007/BF03160685
- [D'Ambrosio, Harrison, 2022](#) – D'Ambrosio, S.L., Harrison, J.A. (2022). Measuring METHANE Fluxes From Lake and Reservoir Sediments: Methodologies and Needs. *Front. Environ. Sci.* 10: 850070. DOI: 10.3389/FENVS.2022.850070
- [Dalal et al., 2008](#) – Dalal, R.C., Allen, D.E., Livesley, S.J., Richards, G. (2008). Magnitude and biophysical regulators of METHANE emission and consumption in the Australian agricultural, forest, and submerged landscapes: A review. *Plant Soil* 309: 43-76. DOI: 10.1007/S11104-007-9446-7/FIGURES/7
- [Datta et al., 2013](#) – Datta, A., Yeluripati, J.B., Nayak, D.R., Mahata, K.R., Santra, S.C., Adhya, T.K. (2013). Seasonal variation of METHANE flux from coastal saline rice field with the application of different organic manures. *Atmos. Environ.* 66: 114-122. DOI: 10.1016/J.ATMOSENV.2012.06.008
- [Dean et al., 2018](#) – Dean, J.F., Middelburg, J.J., Röckmann, T., Aerts, R., Blauw, L.G., Egger, M. (2018). METHANE Feedbacks to the Global Climate System in a Warmer World. *Rev. Geophys.* 56: 207-250. DOI: 10.1002/2017RG000559

- Deppenmeier et al., 2002 – Deppenmeier, U., Johann, A., Hartsch, T., Merkl, R., Schmitz, R.A., Martínez-Arias, R. (2002). The genome of *Methanosarcina mazei*: evidence for lateral gene transfer between bacteria and archaea. *J. Mol. Microbiol. Biotechnol.* 4: 453-461. [Electronic resource]. URL: <https://europepmc.org/article/med/12125824> (date of access: 11.09.2022).
- Długokencky et al., 2011 – Długokencky, E.J., Nisbet, E.G., Fisher, R., Lowry, D. (2011). Global atmospheric METHANE: budget, changes and dangers. *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.* 369: 2058-2072. DOI: 10.1098/RSTA.2010.0341
- Dunfield et al., 2007 – Dunfield, P.F., Yuryev, A., Senin, P., Smirnova, A.V., Stott, M.B., Hou, S. (2007). METHANE oxidation by an extremely acidophilic bacterium of the phylum Verrucomicrobia. *Nature* 450: 879-882. DOI: 10.1038/NATURE06411.
- Dušek et al., 2020 – Dušek, J., Dařenová, E., Pavelka, M., Marek, M.V. (2020). METHANE and carbon dioxide release from wetland ecosystems. *Clim. Chang. Soil Interact.* 509-553. DOI: 10.1016/B978-0-12-818032-7.00019-9
- Duval, Radu, 2018 – Duval, T.P., Radu, D.D. (2018). Effect of temperature and soil organic matter quality on greenhouse-gas production from temperate poor and rich fen soils. *Ecol. Eng.* 114: 66-75. DOI: 10.1016/J.ECOLENG.2017.05.011
- Fatma et al., 2019 – Fatma, Y.S., Rusmana, I., Wahyudi, A.T., Hamim (2019). Archaeal and methanogenic communities in the rice field under different fertilizer applications. *Biodiversitas* 20: 3667-3675. DOI: 10.13057/BIODIV/D201228
- Ferry, 2010 – Ferry, J.G. (2010). The chemical biology of methanogenesis. *Planet. Space Sci.* 58: 1775-1783. DOI: 10.1016/J.PSS.2010.08.014
- Fey et al., 2001 – Fey, A., Chin, K.J., Conrad, R. (2001). Thermophilic methanogens in rice field soil. *Environ. Microbiol.* 3: 295-303. DOI: 10.1046/J.1462-2920.2001.00195.X
- Glagolev et al., 2012 – Glagolev, M.V., Sabrekov, A.F., Kleptsova, I.E., Filippov, I.V., Lapshina, E.D., Machida, T. (2012). METHANE emission from bogs in the subtaiga of Western Siberia: The development of standard model. *Eurasian Soil Sci.* 45: 947-957. DOI: 10.1134/S106422931210002X/METRICS
- Gogoi et al., 2008 – Gogoi, N., Baruah, K.K., Gupta, P.K. (2008). Selection of rice genotypes for lower METHANE emission. *Agron. Sustain. Dev.* 282(28): 181-186. DOI: 10.1051/AGRO:2008005
- Großkopf et al., 1998 – Großkopf, R., Janssen, P.H., Liesack, W. (1998). Diversity and structure of the methanogenic community in anoxic rice paddy soil microcosms as examined by cultivation and direct 16S rRNA gene sequence retrieval. *Appl. Environ. Microbiol.* 64: 960-969. DOI: 10.1128/AEM.64.3.960-969.1998
- Gu et al., 2022 – Gu, X., Weng, S., Li, Y., Zhou, X. (2022). Effects of Water and Fertilizer Management Practices on METHANE Emissions from Paddy Soils: Synthesis and Perspective. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 19: 7324. DOI: 10.3390/IJERPH19127324/S1
- Gutierrez et al., 2013 – Gutierrez, J., Kim, S.Y., Kim, P.J. (2013). Effect of rice cultivar on METHANE emissions and productivity in Korean paddy soil. *F. Crop. Res.* 146: 16-24. DOI: 10.1016/J.FCR.2013.03.003
- Ha et al., 2019 – Ha, N.M.C., Nguyen, T.H., Wang, S.L., Nguyen, A.D. (2019). Preparation of NPK nanofertilizer based on chitosan nanoparticles and its effect on biophysical characteristics and growth of coffee in green house. *Res. Chem. Intermed.* 45: 51-63. DOI: 10.1007/S11164-018-3630-7/METRICS
- Hanson, Hanson, 1996 – Hanson, R.S., Hanson, T.E. (1996). Methanotrophic bacteria. *Microbiol. Rev.* 60: 439-471. DOI: 10.1128/MR.60.2.439-471.1996
- Hasan et al., 2013 – Hasan, E. (2013). Proposing mitigation strategies for reducing the impact of rice cultivation on climate change in Egypt. *Water Sci.* 27: 69-77. DOI: 10.1016/J.WSJ.2013.12.007
- He et al., 2015 – He, S., Malfatti, S.A., McFarland, J.W., Anderson, F.E., Pati, A., Huntemann, M. (2015). Patterns in wetland microbial community composition and functional gene repertoire associated with METHANE emissions. *MBio* 6: 1-15. DOI: 10.1128/MBIO.00066-15/ASSET/OD590F70-423E-4111-8A37-0921CAF68534/ASSETS/GRAPHIC/MBO0031523210007.JPEG
- He et al., 2019 – He, X., Deng, H., Hwang, H. (2019). The current application of nanotechnology in food and agriculture. *J. Food Drug Anal.* 27: 1-21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.12.002>

- Hedderich, Whitman, 2006 – Hedderich, R., Whitman, W.B. (2006). Physiology and Biochemistry of the METHANE-Producing Archaea. *The Prokaryotes*. 1050-1079. DOI: 10.1007/0-387-30742-7_34
- Horn et al., 2003 – Horn, M.A., Matthies, C., Küsel, K., Schramm, A., Drake, H.L. (2003). Hydrogenotrophic methanogenesis by moderately acid-tolerant methanogens of a METHANE-emitting acidic peat. *Appl. Environ. Microbiol.* 69: 74-83. DOI: 10.1128/AEM.69.1.74-83.2003/A SSET/90C5A3B3-E900-4497-9272-CE428E3D9D59/ASSETS/GRAPHIC/AM0131063005.JPEG
- Hou et al., 2008 – Hou, S., Makarova, K.S., Saw, J.H.W., Senin, P., Ly, B.V., Zhou, Z. (2008). Complete genome sequence of the extremely acidophilic methanotroph isolate V4, *Methylacidiphilum infernorum*, a representative of the bacterial phylum Verrucomicrobia. *Biol. Direct.* 3. DOI: 10.1186/1745-6150-3-26.
- Hwang et al., 2008 – Hwang, K., Shin, S.G., Kim, J., Hwang, S. (2008). Methanogenic profiles by denaturing gradient gel electrophoresis using order-specific primers in anaerobic sludge digestion. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 80: 269-276. DOI: 10.1007/S00253-008-1544-9.
- Im et al., 2011 – Im, J., Lee, S.W., Yoon, S., Dispirito, A.A., Semrau, J.D. (2011). Characterization of a novel facultative *Methylocystis* species capable of growth on METHANE, acetate and ethanol. *Environ. Microbiol. Rep.* 3:174–181. DOI: 10.1111/J.1758-2229.2010.00204.X
- Im, Semrau, 2011 – Im, J., Semrau, J.D. (2011). Pollutant degradation by a *Methylocystis* strain SB2 grown on ethanol: bioremediation via facultative methanotrophy. *FEMS Microbiol. Lett.* 318: 137-142. DOI: 10.1111/J.1574-6968.2011.02249.X
- Inglett et al., 2011 – Inglett, K.S., Inglett, P.W., Reddy, K.R., Osborne, T.Z. (2011). Temperature sensitivity of greenhouse gas production in wetland soils of different vegetation. *Biogeochem.* 108: 77-90. DOI: 10.1007/S10533-011-9573-3.
- Iqbal, 2019 – Iqbal, M.A. (2019). Nano-Fertilizers for Sustainable Crop Production under Changing Climate: A Global Perspective. *Sustain. Crop Prod.* DOI: 10.5772/INTECHOPEN.89089
- Jaatinen et al., 2007 – Jaatinen, K., Fritze, H., Laine, J., Laiho, R. (2007). Effects of short- and long-term water-level drawdown on the populations and activity of aerobic decomposers in a boreal peatland. *Glob. Chang. Biol.* 13: 491-510. DOI: 10.1111/J.1365-2486.2006.01312.X
- Jagadevan, Semrau, 2013 – Jagadevan, S., Semrau, J.D. (2013). Priority pollutant degradation by the facultative methanotroph, *Methylocystis* strain SB2. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 97: 5089-5096. DOI: 10.1007/S00253-012-4310-Y
- Jiang et al., 2015 – Jiang, J., Chen, L., Sun, Q., Sang, M., Huang, Y. (2015). Application of herbicides is likely to reduce greenhouse gas (N₂O and METHANE) emissions from rice–wheat cropping systems. *Atmos. Environ.* 107: 62-69. DOI: 10.1016/J.ATMOSENV.2015.02.029
- Kah et al., 2018 – Kah, M., Kookana, R.S., Gogos, A., Bucheli, T.D. (2018). A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues. *Nat. Nanotechnol.* 138(13): 677-684. DOI: 10.1038/s41565-018-0131-1
- Kayranli et al., 2009 – Kayranli, B., Scholz, M., Mustafa, A., Hedmark, Å. (2009). Carbon Storage and Fluxes within Freshwater Wetlands: a Critical Review. *Wetl.* 301(30): 111-124. DOI: 10.1007/S13157-009-0003-4.
- Ke et al., 2014 – Ke, X., Lu, Y., Conrad, R. (2014). Different behaviour of methanogenic archaea and Thaumarchaeota in rice field microcosms. *FEMS Microbiol. Ecol.* 87: 18-29. DOI: 10.1111/1574-6941.12188
- Khadem et al., 2010 – Khadem, A.F., Pol, A., Jetten, M.S.M., Op Den Camp, H.J.M. (2010). Nitrogen fixation by the verrucomicrobial methanotroph “*Methylacidiphilum fumariolicum*” SolV. *Microbiology* 156: 1052-1059. DOI: 10.1099/MIC.0.036061-0
- Kharitonov et al., 2021 – Kharitonov, S., Semenov, M., Sabrekov, A., Kotsyurbenko, O., Zhelezova, A., Schegolkova, N. (2021). Microbial Communities in METHANE Cycle: Modern Molecular Methods Gain Insights into Their Global Ecology. *Environ.* 8: 16. DOI: 10.3390/ENVIRONMENTS8020016
- King et al., 1998 – King, J., Reeburgh, W., Regli, S. (1998). METHANE emission and transport by arctic sedges in Alaska: Results of a vegetation removal experiment. *J. Geophys. Res. Atmos.* 103: 29083-29092. DOI: 10.1029/98JD00052
- Kirschke et al., 2013 – Kirschke, S., Bousquet, P., Ciais, P., Saunois, M., Canadell, J.G., Dlugokencky, E.J., et al. (2013). Three decades of global METHANE sources and sinks. *Nat. Geosci.* 6: 813-823. DOI: 10.1038/ngeo1955

- [Knief et al., 2011](#) – Knief, C., Delmotte, N., Chaffron, S., Stark, M., Innerebner, G., Wassmann, R. (2011). Metaproteogenomic analysis of microbial communities in the phyllosphere and rhizosphere of rice. *ISME J.* 67(6): 1378-1390. DOI: 10.1038/ismej.2011.192
- [Koffi et al., 2020](#) – Koffi, E.N., Bergamaschi, P., Alkama, R., Cescatti, A. (2020). An observation-constrained assessment of the climate sensitivity and future trajectories of wetland METHANE emissions. *Sci. Adv.* 6. DOI: 10.1126/SCIADV.AAY4444/SUPPL_FILE/AAY4444_SM.PDF
- [Krajewska-Włodarczyk, Owczarczyk-Saczonek, 2022](#) – Krajewska-Włodarczyk, M., Owczarczyk-Saczonek, A. (2022). Phylogeny and Metabolic Potential of the Methanotrophic Lineage MO3 in Beijerinckiaceae from the Paddy Soil through Metagenome-Assembled Genome Reconstruction. *Microorganisms.* 10. DOI: 10.3390/MICROORGANISMS10050955
- [Krüger et al., 2005](#) – Krüger, M., Treude, T., Wolters, H., Nauhaus, K., Boetius, A. (2005). Microbial METHANE turnover in different marine habitats. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 227: 6-17. DOI: 10.1016/J.PALAEO.2005.04.031
- [Lever, 2016](#) – Lever, M.A. (2016). A New Era of Methanogenesis Research. *Trends Microbiol.* 24: 84-86. DOI: 10.1016/J.TIM.2015.12.005
- [Liang et al., 2016](#) – Liang, K., Zhong, X., Huang, N., Lampayan, R.M., Pan, J., Tian, K. (2016). Grain yield, water productivity and METHANE emission of irrigated rice in response to water management in south China. *Agric. Water Manag.* 163: 319-331. DOI: 10.1016/J.AGWAT.2015.10.015
- [Limpert et al., 2020](#) – Limpert, K.E., Carnell, P.E., Trevathan-Tackett, S.M., Macreadie, P.I. (2020). Reducing Emissions From Degraded Floodplain Wetlands. *Front. Environ. Sci.* 8: 8. DOI: 10.3389/FENVS.2020.00008
- [Liu, Wu, 2004](#) – Liu, C.W., Wu, C.Y. (2004). Evaluation of METHANE emissions from Taiwanese paddies. *Sci. Total Environ.* 333: 195-207. DOI: 10.1016/J.SCITOTENV.2004.05.013
- [Lorius et al., 1990](#) – Lorius, C., Jouzel, J., Raynaud, D., Hansen, J., Le Treut, H. (1990). The ice-core record: climate sensitivity and future greenhouse warming. *Nat.* 347: 139-145. DOI: 10.1038/347139a0
- [Lueders et al., 2001](#) – Lueders, T., Chin, K. J., Conrad, R., Friedrich, M. (2001). Molecular analyses of methyl-coenzyme M reductase alpha-subunit (mcrA) genes in rice field soil and enrichment cultures reveal the methanogenic phenotype of a novel archaeal lineage. *Environ. Microbiol.* 3: 194-204. DOI: 10.1046/J.1462-2920.2001.00179.X
- [Moore, Dalva, 1993](#) – Moore, T.R., Dalva, M. (1993). The influence of temperature and water table position on carbon dioxide and METHANE emissions from laboratory columns of peatland soils. *J. Soil Sci.* 44: 651-664. DOI: 10.1111/J.1365-2389.1993.TB02330.X
- [Morrissey, Livingston, 1992](#) – Morrissey, L.A., Livingston, G.P. (1992). METHANE emissions from Alaska Arctic tundra: An assessment of local spatial variability. *J. Geophys. Res. Atmos.* 97: 16661-16670. DOI: 10.1029/92JD00063
- [Nagle, Wolfe, 1983](#) – Nagle, D.P., Wolfe, R.S. (1983). Component A of the methyl coenzyme M methylreductase system of Methanobacterium: Resolution into four components. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S.A.* 80: 2151-2155. DOI: 10.1073/pnas.80.8.2151
- [Nan et al., 2021](#) – Nan, Q., Xin, L., Qin, Y., Waqas, M., Wu, W. (2021). Exploring long-term effects of biochar on mitigating METHANE emissions from paddy soil: a review. *Biochar.* 3: 125-134. DOI: 10.1007/S42773-021-00096-0/FIGURES/2
- [Nath et al., 2021](#) – Nath, D., Chakraborty, I., Ghangrekar, M.M. (2021). Methanogenesis inhibitors used in bio-electrochemical systems: A review revealing reality to decide future direction and applications. *Bioresour. Technol.* 319: 124141. DOI: 10.1016/J.BIORTECH.2020.124141
- [Nazaries et al., 2013](#) – Nazaries, L., Murrell, J.C., Millard, P., Baggs, L., Singh, B.K. (2013). METHANE, microbes and models: Fundamental understanding of the soil METHANE cycle for future predictions. *Environ. Microbiol.* 15: 2395-2417. doi:10.1111/1462-2920.12149/SUPPINFO.
- [Nema et al., 2012](#) – Nema, P., Nema, S., Roy, P. (2012). An overview of global climate changing in current scenario and mitigation action. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16: 2329-2336. DOI: 10.1016/J.RSER.2012.01.044
- [Nolling et al., 1995](#) – Nolling, J., Pihl, T.D., Vriesema, A., Reeve, J.N. (1995). Organization and growth phase-dependent transcription of METHANE genes in two regions of the Methanobacterium thermoautotrophicum genome. *J. Bacteriol.* 177: 2460-2468. DOI: 10.1128/JB.177.9.2460-2468.1995

- Olefeldt et al., 2017 – Olefeldt, D., Euskirchen, E.S., Harden, J., Kane, E., McGuire, A.D., Waldrop, M.P. (2017). A decade of boreal rich fen greenhouse gas fluxes in response to natural and experimental water table variability. *Glob. Chang. Biol.* 23: 2428-2440. DOI: 10.1111/GCB.13612
- Op den Camp et al., 2009 – Op den Camp, H.J.M., Islam, T., Stott, M.B., Harhangi, H.R., Hynes, A., Schouten, S. (2009). Environmental, genomic and taxonomic perspectives on methanotrophic Verrucomicrobia. *Environ. Microbiol. Rep.* 1: 293-306. DOI: 10.1111/J.1758-2229.2009.00022.X
- Peltoniemi et al., 2016 – Peltoniemi, K., Laiho, R., Juottonen, H., Bodrossy, L., Kell, D.K., Minkinen, K. (2016). Responses of methanogenic and methanotrophic communities to warming in varying moisture regimes of two boreal fens. *Soil Biol. Biochem.* 97: 144-156. DOI: 10.1016/J.SOILBIO.2016.03.007
- Peng et al., 2004 – Peng, S., Huang, J., Sheehy, J. E., Laza, R.C., Visperas, R.M., Zhong, X. (2004). Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 101: 9971-9975. DOI: 10.1073/PNAS.0403720101
- Petit et al., 1999 – Petit, J.R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N. I., Barnola, J.-M., Basile, I. (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nat.* 399: 429-436. DOI: 10.1038/20859
- Pihl et al., 1994 – Pihl, T.D., Sharma, S., Reeve, J.N. (1994). Growth phase-dependent transcription of the genes that encode the two methyl coenzyme M reductase isoenzymes and N⁵-methyltetrahydromethanopterin:coenzyme M methyltransferase in *Methanobacterium thermoautotrophicum* delta H. *J. Bacteriol.* 176: 6384-6391. DOI: 10.1128/JB.176.20.6384-6391.1994
- Pol et al., 2007 – Pol, A., Heijmans, K., Harhangi, H.R., Tedesco, D., Jetten, M.S.M., Op Den Camp, H.J.M. (2007). Methanotrophy below pH 1 by a new Verrucomicrobia species. *Nat.* 450: 874-878. DOI: 10.1038/nature06222
- Qi et al., 2021 – Qi, L., Ma, Z., Chang, S.X., Zhou, P., Huang, R., Wang, Y. (2021). Biochar decreases methanogenic archaea abundance and METHANE emissions in a flooded paddy soil. *Sci. Total Environ.* 752: 141958. DOI: 10.1016/J.SCITOTENV.2020.141958
- Quéré et al., 2018 – Quéré, C., Andrew, R., Friedlingstein, P., Sitch, S., Hauck, J., Pongratz, J. (2018). Global Carbon Budget 2018. *Earth Syst. Sci. Data.* 10: 2141-2194. DOI: 10.5194/ESSD-10-2141-2018
- Quiquet et al., 2015 – Quiquet, A., Archibald, A.T., Friend, A.D., Chappellaz, J., Levine, J.G., Stone, E.J. (2015). The relative importance of METHANE sources and sinks over the Last Interglacial period and into the last glaciation. *Quat. Sci. Rev.* 112: 1-16. DOI: 10.1016/J.QUASCIREV.2015.01.004
- Raghoebarsing et al., 2006 – Raghoebarsing, A.A., Pol, A., Van De Pas-Schoonen, K.T., Smolders, A.J.P., Ettwig, K.F., Rijpstra, W.I.C. (2006). A microbial consortium couples anaerobic METHANE oxidation to denitrification. *Nature.* 440: 918-921. DOI: 10.1038/NATURE04617.
- Rajput et al., 2020 – Rajput, V., Minkina, T., Mazarji, M., Shende, S., Sushkova, S., Mandzhieva, S. (2020). Accumulation of nanoparticles in the soil-plant systems and their effects on human health. *Ann. Agric. Sci.* 65: 137-143. DOI: 10.1016/J.AOAS.2020.08.001
- Rajput et al., 2021 – Rajput, V.D., Singh, A., Minkina, T.M., Shende, S.S., Kumar, P., Verma, K.K. (2021). Potential Applications of Nanobiotechnology in Plant Nutrition and Protection for Sustainable Agriculture. *Nanotechnol. Plant Growth Promot. Prot.* 79-92. DOI: 10.1002/9781119745884.CH5
- Ramasamy et al., 2009 – Ramasamy, R., Yan, S. F., Schmidt, A.M. (2009). RAGE: therapeutic target and biomarker of the inflammatory response—the evidence mounts. *J. Leukoc. Biol.* 86: 505-512. DOI: 10.1189/JLB.0409230
- Reddy, DeLaune, 2008 – Reddy, K.R., DeLaune, R.D. (2008). Biogeochemistry of Wetlands. *Biogeochem. Wetl.* DOI: 10.1201/9780203491454
- Reeve et al., 1997 – Reeve, J.N., Nölling, J., Morgan, R.M., Smith, D.R. (1997). Methanogenesis: genes, genomes, and who's on first? *J. Bacteriol.* 179: 5975-5986. DOI: 10.1128/JB.179.19.5975-5986
- Renssen et al., 2018 – Renssen, H., Goosse, H., Roche, D.M., Seppä, H. (2018). The global hydroclimate response during the Younger Dryas event. *Quat. Sci. Rev.* 193: 84-97. DOI: 10.1016/J.QUASCIREV.2018.05.033

- [Sabrekov et al., 2013](#) – Sabrekov, A.F., Glagolev, M.V., Kleptsova, I.E., Machida, T., Maksyutov, S.S. (2013). METHANE emission from mires of the West Siberian taiga. *Eurasian Soil Sci.* 46: 1182-1193. DOI: 10.1134/S1064229314010098/METRICS
- [Sabrekov et al., 2017](#) – Sabrekov, A.F., Runkle, B.R.K., Glagolev, M.V., Terentjeva, I.E., Stepanenko, V.M., Kotsyurbenko, O.R. (2017). Variability in METHANE emissions from West Siberia's shallow boreal lakes on a regional scale and its environmental controls. *Biogeosciences.* 14: 3715-3742. DOI: 10.5194/BG-14-3715-2017
- [Sakai et al., 2007](#) – Sakai, S., Imachi, H., Sekiguchi, Y., Ohashi, A., Harada, H., Kamagata, Y. (2007). Isolation of key methanogens for global METHANE emission from rice paddy fields: A novel isolate affiliated with the clone cluster rice cluster. *Appl. Environ. Microbiol.* 73: 4326-4331. DOI: 10.1128/AEM.03008-06/ASSET/1ABE973B-B24F-46E6-98CB-Do48405A567D/ASSETS/GRAPHIC/ZAM0130779100004.JPEG
- [Saunois et al., 2016](#) – Saunois, M., Jackson, R.B., Bousquet, P., Poulter, B., Canadell, J.G. (2016). The growing role of METHANE in anthropogenic climate change. *Environ. Res. Lett.* 11: 120207. DOI: 10.1088/1748-9326/11/12/120207
- [Schimel et al., 1995](#) – Schimel, J.P. (1995). Plant transport and METHANE production as controls on METHANE flux from arctic wet meadow tundra. *Biogeochem.* 28: 183-200. DOI: 10.1007/BF02186458
- [Schutz et al., 1989](#) – Schutz, H., Holzapfel-Pschorn, A., Conrad, R., Rennenberg, H., Seiler, W. (1989). A 3-year continuous record on the influence of daytime, season, and fertilizer treatment on METHANE emission rates from an Italian rice paddy. *J. Geophys. Res.* 94: D13. DOI: 10.1029/JD094ID13P16405
- [Schütz et al., 1990](#) – Schütz, H., Seiler, W., Conrad, R. (1990). Influence of soil temperature on METHANE emission from rice paddy fields. *Biogeochemistry* 11: 77-95. DOI: 10.1007/BF00002060/METRICS
- [Semenov et al., 2010](#) – Semenov, M. V., Kravchenko, I.K., Semenov, V.M., Kuznetsova, T.V., Dulov, L.E., Udaltsov, S.N. (2010). Carbon dioxide, METHANE, and nitrous oxide fluxes in soil catena across the right bank of the Oka River (Moscow oblast). *Eurasian Soil Sci.* 43: 541-549. DOI: 10.1134/S1064229310050078/METRICS
- [Semenov et al., 2019](#) – Semenov, M.V., Manucharova, N.A., Krasnov, G.S., Nikitin, D.A., Stepanov, A.L. (2019). Biomass and Taxonomic Structure of Microbial Communities in Soils of the Right-Bank Basin of the Oka River. *Eurasian Soil Sci.* 52: 971-981. DOI: 10.1134/S106422931908012X/METRICS
- [Semrau et al., 2008](#) – Semrau, J.D., DiSpirito, A.A., Murrell, J.C. (2008). Life in the extreme: thermoacidophilic methanotrophy. *Trends Microbiol.* 16: 190-193. DOI: 10.1016/J.TIM.2008.02.004
- [Semrau et al., 2010](#) – Semrau, J.D., DiSpirito, A.A., Yoon, S. (2010). Methanotrophs and copper. *FEMS Microbiol. Rev.* 34: 496-531. DOI: 10.1111/J.1574-6976.2010.00212.X
- [Serrano-Silva et al., 2014](#) – Serrano-Silva, N., Sarria-Guzmán, Y., Dendooven, L., Luna-Guido, M. (2014). Methanogenesis and Methanotrophy in Soil: A Review. *Pedosphere.* 24: 291-307. DOI: 10.1016/S1002-0160(14)60016-3
- [Shen et al., 2021](#) – Shen, Y., Yu, Y., Zhang, Y., Urgun-Demirtas, M., Yuan, H., Zhu, N. (2021). Role of redox-active biochar with distinctive electrochemical properties to promote METHANE production in anaerobic digestion of waste activated sludge. *J. Clean. Prod.* 278: 123212. DOI: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.123212
- [Singh, Gupta, 2016](#) – Singh, J.S., Gupta, V.K. (2016). Degraded Land Restoration in Reinstating METHANE Sink. *Front. Microbiol.* 0:23. DOI: 10.3389/FMICB.2016.00923
- [Singh et al., 2018](#) – Singh, N.K., Patel, D.B., Khalekar, G.D. (2018). Methanogenesis and METHANE Emission in Rice. *Paddy Fields.* 135-170. DOI: 10.1007/978-3-319-99076-7_5
- [Six et al., 2002](#) – Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A., Paustian, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant Soil.* 241: 155-176. DOI: 10.1023/A:1016125726789
- [Smardon, 2014](#) – Smardon, R. (2014). Wetland Ecology Principles and Conservation, Second Edition. *Water.* 6: 813-817. DOI: 10.3390/W6040813
- [Smartt et al., 2016](#) – Smartt, A.D., Brye, K.R., Norman, R.J. (2016). METHANE Emissions from Rice Production in the United States — A Review of Controlling Factors and Summary of

Research. *Greenh. Gases*. DOI: 10.5772/62025

Smith et al., 2010 – Smith, K.E., Runion, G.B., Prior, S.A., Rogers, H.H., Torbert, H.A. (2010). Effects of elevated CO₂ and agricultural management on flux of greenhouse gases from soil. *Soil Sci.* 175: 349-356. DOI: 10.1097/SS.0B013E3181E93D3C

Soliman et al., 2015 – Soliman, A.S., El-feky, S.A., Darwish, E. (2015). Alleviation of salt stress on *Moringa peregrina* using foliar application of nanofertilizers. *J. Hort. For.* 7: 36-47. DOI: 10.5897/JHF2014.0379

Stams, 1994 – Stams, A.J.M. (1994). Metabolic interactions between anaerobic bacteria in methanogenic environments. *Antonie Van Leeuwenhoek* 66: 271-294. DOI: 10.1007/BF00871644

Stams, Plugge, 2009 – Stams, A.J.M., Plugge, C.M. (2009). Electron transfer in syntrophic communities of anaerobic bacteria and archaea. *Nat. Rev. Microbiol.* 7: 568-577. DOI: 10.1038/NRMICRO2166

Stoecker et al., 2006 – Stoecker, K., Bendinger, B., Schöning, B., Nielsen, P.H., Nielsen, J.L., Baranyi, C. (2006). Cohn's *Crenothrix* is a filamentous METHANE oxidizer with an unusual METHANE monooxygenase. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 103: 2363-2367. DOI: 10.1073/PNAS.0506361103/SUPPL_FILE/06361FIG8.PDF

Strieg et al., 1992 – Strieg, R.G., McConnaughey, T.A., Thorstenson, D.C., Weeks, E.P., Woodward, J.C. (1992). Consumption of atmospheric METHANE by desert soils. *Nat.* 357: 145-147. DOI: 10.1038/357145a0

Ström et al., 2012 – Ström, L., Tagesson, T., Mastepanov, M., Christensen, T. (2012). Presence of *Eriophorum scheuchzeri* enhances substrate availability and METHANE emission in an Arctic wetland. *Soil Biol. Biochem.* 45: 61-70. DOI: 10.1016/J.SOILBIO.2011.09.005

Sun, Liu, 2007 – Sun Z.G., Liu J.S. (2007). Nitrogen cycling of atmosphere-plant-soil system in the typical *Calamagrostis angustifolia* wetland in the Sanjiang Plain, northeast China. *J. Environ. Sci. (China)* 19: 986-995. DOI: 10.1016/S1001-0742(07)60161-2

Tanaka et al., 2006 – Tanaka, H., Kyaw, K.M., Toyota, K., Motobayashi, T. (2006). Influence of application of rice straw, farmyard manure, and municipal biowastes on nitrogen fixation, soil microbial biomass N, and mineral N in a model paddy microcosm. *Biol. Fertil. Soils* 42: 501-505. DOI: 10.1007/S00374-005-0043-8

Thauer, 1998 – Thauer, R.K. (1998). Biochemistry of methanogenesis: a tribute to Marjory Stephenson:1998 Marjory Stephenson Prize Lecture. *Microbiology* 144: 2377-2406. DOI: 10.1099/00221287-144-9-2377/CITE/REFWORKS

The State of Food... – The State of Food and Agriculture 2019 | FAO | Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Electronic resource]. URL: <http://www.fao.org/publications/sofa/2019/en/> (date of access: 03.08.2021).

Tiwari et al., 2020 – Tiwari, S., Singh, C., Singh, J.S. (2020). Wetlands: A Major Natural Source Responsible for METHANE Emission. *Restor. Wetl. Ecosyst. A Trajectory Towar. a Sustain. Environ.* 59-74. DOI: 10.1007/978-981-13-7665-8_5

Torn, Harte, 1996 – Torn, M.S., Harte, J. (1996). METHANE consumption by montane soils: Implications for positive and negative feedback with climatic change. *Biogeochemistry* 32: 53-67. DOI: 10.1007/BF00001532/METRICS

Turetsky et al., 2008 – Turetsky, M.R., Treat, C.C., Waldrop, M.P., Waddington, J.M., Harden, J.W., McGuire, A.D. (2008). Short-term response of METHANE fluxes and methanogen activity to water table and soil warming manipulations in an Alaskan peatland. *J. Geophys. Res. Biogeosciences.* 113: G00A10. DOI: 10.1029/2007JG000496

Turetsky et al., 2014 – Turetsky, M.R., Kotowska, A., Bubier, J., Dise, N.B., Crill, P., Hornibrook, E.R.C. (2014). A synthesis of METHANE emissions from 71 northern, temperate, and subtropical wetlands. *Glob. Chang. Biol.* 20: 2183-2197. DOI: 10.1111/GCB.12580

Ulmer, 2002 – Ulmer, M. (2002). Wetland Soils—Genesis, Hydrology, Landscapes, and Classification Edited by J.L. Richardson and M.J. Vepraskas. 2001. CRC Press, LLC, 2000 N. W. Corporate Blvd., Boca Raton, FL 33431. Hardback, 417 pp. *Soil Surv. Horizons* 43: 132-132. DOI: 10.2136/SH2002.4.0132

Upadhyay et al., 2017 – Upadhyay, A.K., Singh, N.K., Bankoti, N.S. Rai, U.N. (2017). Designing and construction of simulated constructed wetland for treatment of sewage containing metals. *Environ. Technol.* 38: 2691-2699. DOI: 10.1080/09593330.2016.1273396

- Updegraff et al., 1995 – Updegraff, K., Pastor, J., Bridgham, S.D. Johnston, C.A. (1995). Environmental and substrate controls over carbon and nitrogen mineralization in northern wetlands. *Ecol. Appl.* 5: 151-163. DOI: 10.2307/1942060
- Davamani et al., 2020 – Davamani, V., Parameswari, E., Arulmani, S. (2020). Mitigation of METHANE gas emissions in flooded paddy soil through the utilization of methanotrophs. *Sci. Total Environ.* 726. DOI: 10.1016/J.SCITOTENV.2020.138570
- Verma et al., 2002 – Verma, K.K., Song, X.-P., Joshi, A., Rajput, V.D., Singh, M., Sharma, A. (2022). Nanofertilizer Possibilities for Healthy Soil, Water, and Food in Future: An Overview. *Front. Plant Sci.* 13. DOI: 10.3389/FPLS.2022.865048
- Vorobev et al., 2011 – Vorobev, A.V., Baani, M., Doronina, N.V., Brady, A. L., Liesack, W., Dunfield, P. F. (2011). *Methyloferula stellata* gen. nov., sp. nov., an acidophilic, obligately methanotrophic bacterium that possesses only a soluble METHANE monooxygenase. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 61: 2456-2463. DOI: 10.1099/IJS.o.028118-0
- Wang et al., 2011 – Wang, G., Watanabe, T., Jin, J., Liu, X., Kimura, M., Asakawa, S. (2011). Methanogenic archaeal communities in paddy field soils in north-east China as evaluated by PCR-DGGE, sequencing and real-time PCR analyses. *Soil Sci. Plant Nutr.* 56: 831-838. DOI: 10.1111/J.1747-0765.2010.00521.X
- Ward et al., 2004 – Ward, N., Larsen, Ø., Sakwa, J., Bruseth, L., Khouri, H., Durkin, A.S. (2004). Genomic Insights into Methanotrophy: The Complete Genome Sequence of *Methylococcus capsulatus* (Bath). *PLOS Biol.* 2: e303. DOI: 10.1371/JOURNAL.PBIO.0020303
- Whalen et al., 1990 – Whalen, S.C., Reeburgh, W.S., Sandbeck, K.A. (1990). Rapid METHANE oxidation in a landfill cover soil. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 3405-3411. DOI: 10.1128/AEM.56.11.3405-3411.1990
- Whalen, 2005 – Whalen, S.C. (2005). Biogeochemistry of METHANE Exchange between Natural Wetlands and the Atmosphere. *Env. Engin. Sci.* 22: 73-94. DOI: 10.1089/EES.2005.22.73
- Whittenbury et al., 1970 – Whittenbury, R., Phillips, K.C., and Wilkinson, J.F. (1970). Enrichment, isolation and some properties of METHANE-utilizing bacteria. *J. Gen. Microbiol.* 61: 205–218. DOI: 10.1099/00221287-61-2-205/CITE/REFWORKS
- Wiesmeier et al., 2019 – Wiesmeier, M., Urbanski, L., Hobbey, E., Lang, B., von Lützow, M., Marin-Spiotta, E., et al. (2019). Soil organic carbon storage as a key function of soils - A review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma* 333: 149-162. DOI: 10.1016/J.GEODERMA.2018.07.026
- Yoon et al., 2011 – Yoon, S., Im, J., Bandow, N., Dispirito, A.A., Semrau, J.D. (2011). Constitutive expression of pMMO by *Methylocystis* strain SB2 when grown on multi-carbon substrates: implications for biodegradation of chlorinated ethenes. *Environ. Microbiol. Rep.* 3: 182-188. DOI: 10.1111/J.1758-2229.2010.00205.X
- Yrjälä et al., 2011 – Yrjälä, K., Tuomivirta, T., Juottonen, H., Putkinen, A., Lappi, K., Tuittila, E.S. (2011). METHANE production and oxidation processes in a boreal fen ecosystem after long-term water table drawdown. *Glob. Chang. Biol.* 17: 1311-1320. DOI: 10.1111/J.1365-2486.2010.02290.X
- Zhao et al., 2021 – Zhao, R., Li, Y., Ma, M. (2021). Mapping Paddy Rice with Satellite Remote Sensing: A Review. *Sustain.* 13: 503. DOI: 10.3390/SU13020503
- Zheng et al., 2018 – Zheng, J., RoyChowdhury, T., Yang, Z., Gu, B., Wullschlegel, S.D., Graham, D.E. (2018). Impacts of temperature and soil characteristics on METHANE production and oxidation in Arctic tundra. *Biogeosciences.* 15: 6621-6635. DOI: 10.5194/BG-15-6621-2018
- Zhou et al., 2013 – Zhou, Y., Dorchak, A.E., Ragsdale, S.W. (2013). In vivo activation of methyl-coenzyme M reductase by carbon monoxide. *Front. Microbiol.* 4. DOI: 10.3389/FMICB.2013.00069
- Zulfiqar, Ashraf, 2021 – Zulfiqar, F., Ashraf, M. (2021). Nanoparticles potentially mediate salt stress tolerance in plants. *Plant Physiol. Biochem.* 160: 257-268. DOI: 10.1016/J.PLAPHY.2021.01.028
- Zulfiqar et al., 2019 – Zulfiqar, F., Navarro, M., Ashraf, M., Akram, N.A., Munné-Bosch, S. (2019). Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. *Plant Sci.* 289: 110270. DOI: 10.1016/J.PLANTSCI.2019.110270

Copyright © 2023 by Cherkas Global University



Published in the USA
Biogeosystem Technique
Issued since 2014.
E-ISSN: 2413-7316
2023. 10(1): 32-48

DOI: 10.13187/bgt.2023.1.32
<https://bgt.cherkasgu.press>



Searching for Optimal Composition of Soil Fillers

Larisa L. Sviridova ^{a, *}, Michail G. Baryshev ^a, Michail A. Sevostyanov ^a,
Veronika M. Andreevskaya ^a, Sofia V. Zhelezova ^a, Elena V. Grishina ^a, José L. Hernández Cáceres ^b,
Zafarjon Jabbarov ^d, Urol Nomozov ^d, Shovkat Kholdorov ^{c, d}, Daniel Asiamah Aboagye ^{c, e}

^a All-Russian Phytopathology Research Institute, Russian Federation

^b Cuban Center for Neurosciences, Cuba

^c Graduate School of Agriculture of the Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan

^d Department of Soil Science of the National University of Uzbekistan, Republic of Uzbekistan

^e Department of Soil Science of the University of Ghana, Ghana

Paper Review Summary:

Received: 2023, March 22

Received in revised form: 2023, July 11

Acceptance: 2023, August 17

Abstract

The results of research in optimizing the composition of soil fillers are presented. The initial properties of raw material for the soil application often do not meet the agrochemical requirements and their introduction cannot guarantee the planned result in the soil environment. The study aims were: a searching for the original component soil filler data; the soil formation conditions; the declared plant community need for a growth support and a soil filler composition optimization by additional components introduction.

The article presents the studies on compiled samples of soil mixtures using natural components and recycled industrial waste. The objects of research are samples intended for the growing of different plant species; reference soil samples on the market; humus-containing preparations of scientific and research and production organizations; sapropel deposits of the Volga-Akhtuba floodplain; tested crop varieties; stressor and pathogen microorganism strains from the Center for Collective Use “State Collection of Phytopathogenic Microorganisms and Identifier Varieties (Differentiators) of Pathogenic Strains of Microorganisms” of the All-Russian Phytopathology Research Institute.

Keywords: soil fillers, soil fertility, biocenosis, plant survival.

1. Введение

Перспективные направления развития в современном производственном цикле рассматривают эффективность, как основу с проявлениями: экономической, биологической, сырьевой и т.д. Продовольственное производство также ориентируется на эффективность проявления, в основу которого закладывается получение продукции по низкой себестоимости с качественными показателями. Выявленные параметры возможны в

* Corresponding author

E-mail addresses: Larina67@bk.ru (L.L. Sviridova)

реализации с достижением оптимальных условий обеспечения жизнедеятельности растительной и животной продукции. Так, рассмотрим отраслевую специализацию как растениеводство, которая является основополагающей в сельском хозяйстве. Самое ценное на что ориентируется данная отрасль – почвенный контекст, где совокупность климатических и рельефных обстоятельств формирует особый биоценоз. Способность производственного цикла взаимодействовать с окружающим агроландшафтом проявляется уже в качественных показателях урожайности производимой продукции. При этом основной признак взаимодействия – плодородный слой почвы. Рельефные образования отображаются в структурном строении сочетанием продуктов экзогенного процесса планетарного масштаба с включением органических соединений локального биоценоза. При интенсификации сельскохозяйственного производства и неблагоприятных климатических факторах проявляются процессы деградации почвенного покрова в виде потери плодородных показателей, которые очень необходимы для структурирования процессов жизнедеятельности растительного сообщества.

Своевременное выявление измененных параметров почвенной структуры гарантирует подконтрольное управление в стабилизации проявленного процесса за счет обоснованных научных изысканий. В мировой практике большая часть ученых понимают, что с отсутствием информации по протеканию изучаемых процессов тормозит или направляет в ложное представление мышление и только комплексное изучение всех параметров позволяет выстроить конструктивное обзорное восприятие. Для этого необходимо просматривать все направления по изучению почвенных процессов. Одна из групп научных исследователей в совместной работе института сельскохозяйственной инженерии, транспорта и биоэнергетики (Словакия, Нитра) и исследовательского института Карчага (Венгрия) произвели оценочную изменчивость инфильтрации почвы в уплотненном и неуплотненном грунте в тестируемом режиме двух измерительных приборов по выражению гидравлической проводимости почвы. Испытания проведены с помощью современной системы управления земельными ресурсами (*control traffic farming*) по двум различным методам мониторинга гидропроводности почвы с выявленными техногенными факторами деградации почвы (Jobbady et al., 2023).

Коллектив исследователей из Туниса анализирует с помощью моделирования гидрологические реакции в водоразделе Сейнана (северный Тунис) по изменениям землепользования на протяжении 37 летний периода с помощью дистанционного зондирования и модели SWAT. Полученные результаты подтвердили, что воздействие антропогенного фактора напрямую оказывает влияние на изменения гидрологии исследуемой реки (Mosbahi et al., 2023).

Ученые из Саньяна и Янлин проанализировали характерные изменения во влажности почвы и влияющих факторов на пастбищных угодьях Тибетском нагорья. Рассматриваемая гидрологическая цикличность – почва ↔ растительность ↔ атмосфера, изучается с целью получения параметров по стабилизации экосистемы и защиты устойчивости экологического восстановления (L. Wang et al, 2023). Проявленные характеристики деградации почвенного покрова возможно стабилизировать за счёт восстанавливающих мероприятий с помощью травянистой растительности *Bromus inermis* и *Medicago sativa* считают ученые из института пастбищ, цветов и экологии Пекинской академии сельскохозяйственных и лесохозяйственных наук (Бэйцзин). Полученные результаты показали, что в условиях деградации земель необходимо применять растительные сообщества с сочетанием видов наименьшей конкуренцией за воду (Pang et al., 2023).

Ученое сообщество также участвует в поисковых исследованиях по получению результативных новообразований с помощью которых возможно решить несколько глобальных проблем по направлению – утилизация ↔ восстановление. В своей работе «Quality and Fertility Assessments of Municipal Solid Waste Compost Produced from Cleaner Development Mechanism Compost Projects: A Case Study from Uganda» ученые J.K. Kabasiita; E. Opolot; G.M. Malinga, доказали, что валковое компостирование является жизнеспособным методом в сокращении органических твердых бытовых отходов (Kabasiita et al., 2022). Совместная творческая деятельность представителей Университета Чосон (Кваджу, Корея) и Технологического института Стивенса (Нью-Джерси, США) уделили внимание стабилизации загрязненного свинцом грунта шахты с использованием природных отходов. Стабилизация рассматривалась в

качестве варианта восстановления для иммобилизации свинца (*Pb*) в загрязненном шахтном грунте. В качестве наполнителей были использованы: отходы устричных раковин, кальцинированные устричные раковины, натуральная морская звезда и биоуголь полученный из отходов кофейной гущи (Moon et al, 2022).

Российские ученые также проводят исследования в изучении области рассматриваемого направления. Исследователь Сидоренко С.А. анализирует полученные результаты химического анализа черноземом обыкновенных в условиях Оренбургской области, где рассмотрены нитраты, бенз(а)пирен, тяжелые металлы и нефтепродукты (Сидоренко, 2022). Ученые Водолазко А.Н. и Иванцова Е.А. проводят бонитировочную оценку земель на основе многолетнего агроэкологического мониторинга на территориях испытывающих антропогенную нагрузку (Водолазко и др., 2019). Выбранная тематика является актуальной, т.к. загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами представляют собой серьезную опасность (Чернышев, 2023; Середа и др., 2023). В своей работе группа ученых исследователей говорит о важности рассматриваемого направления в изучении почвенных процессов. Свои методологические подходы основывают с помощью теории Ленгмюра, Фрейндлиха (Панкин и др., 2006). Территориальная оценка по содержанию селена в почвах и выявление факторов, влияющих на её устойчивость также является актуальной проблематикой, отображенной в научном поиске (Митченко и др., 2023). Остро стоит проблема избыточной кислотности почв, где pH меньше 5.5, площадь составляет ~ 65 млн. га пахотных земель. Агрохимические изыскания в данном направлении определили, что фитотоксичные ионы металлов влияют на различные физиологические и биохимические процессы растений, стимулируют многочисленные морфологические изменения в ростовых показателях (Яковлева, 2018).

Перечисленные направления не являются одиночными в стабилизационном обозрении почвенных ресурсов. Большую озабоченность вызывает не только у ученых, но и у социального сообщества – нерациональное применение удобрений и пестицидов при производстве сельскохозяйственной продукции (Евдаков, 2023; Савицкая, 2023; Долганова, 2022; Авдеенко, 2023).

Направления в изучении почвенных показателей сводятся лишь к тому, чтобы стабилизировать плодородие используемых пахотных земель. В условиях разрастающихся городских агломераций, горнодобывающей промышленности, транспортных развязок и логистических систем всё меньше остается естественно-природного биоценоза. В таких реалиях встает вопрос о замещении/воспроизводстве искусственного потенциала плодородной почвы – создание почвенных смесей с набором плодородных показателей для определенной культуры возделывания и условий использования. В разных научных трактовках звучит как: почвозаменители, почвосмеси, субстраты, почвогрунты. Первостепенным требованием является то, что данные смеси должны быть приближены к естественным почвам с использованием в своем составе отходы производства, торф, почвенные компоненты с минеральными и органическими включениями. Научные разработки в данном направлении имеют перспективное развитие (Воликов, 2022; Бастаева, 2022; Свиридова и др., 2020; Глинушкин и др., 2018).

В данной статье приводятся результаты исследований по составленным образцам почвенных смесей с использованием природных компонентов и переработанных производственных отходов. Работа выполнена в рамках реализации Государственного задания по теме: «FGGU-2022-0011 Методологическое обоснование приемов и способов преодоления резистентности вредных организмов (фитопатогенов) применением целевого синтеза органических соединений, гибридных минерально-органических соединений и экологических методов контроля посредством биоресурсных коллекций».

2. Область исследования

Цель поискового исследования – разработать научные основы формирования и применения почвенных наполнителей, как основного средства для производства безопасной сельскохозяйственной продукции. Задачи в соответствии с поставленной целью: установить динамику роста, развития и продуктивность испытываемых растений в зависимости от представленных образцов. Объектами исследований являются образцы, предназначенные для выращивания растений (по целевому заказу); эталонные образцы почвогрунтов

представленные на рынке; гумусосодержащие препараты научных и научно-производственных организаций; сапропелевые отложения Волго-Ахтубинской поймы; сорт тестируемой культуры; штаммы микроорганизмов стрессоров и патогенов с Центра коллективного пользования «Государственная коллекция фитопатогенных микроорганизмов и сортов-идентификаторов (дифференциаторов) патогенных штаммов микроорганизмов» Всероссийского научно-исследовательского института фитопатологии (ВНИИФ).

В данной статье представлены результаты исследования по пяти этапным периодам.

3. Материалы и методы

В работе применялось оборудование ЦКП ГКФМ ФГБНУ ВНИИФ, ЦКП «ЛИК», микробиологический анализатор «VactoSCREEN», атомно-абсорбционный спектрометр ZEE nit 650 P и другое. Условные обозначения применяемых наполнителей в исследовании представлены в [Таблице 1](#).

Таблица 1. Условные обозначения схемы опыта

Обозначение	Почвенный наполнитель
А	Торф Агробалт В верховый зеленый кислый торфяной грунт универсальный марки Агробалт-В, кислотность рН (Н ₂ О) 3,0-4,2, рН (КСІ) 2,5-3,04 содержание органического вещества не менее 95 % (результаты агрохимического исследования предоставлены производителем)
В	АГ2 (иловые отложения производственного цикла)
С	Компост
Д	Дерново-подзолистая почва (опытного участка ФГБНУ ВНИИФ)
Е	Сапропелевые отложения Волго-Ахтубинской поймы
Н	Питательный грунт
F	Органическое удобрение «Дядюшка гумус»
G	Песок (Контроль)

Описание составляющих компонентов, использованных в исследовании:

1. Органическое удобрение «Дядюшка Гумус» – биотермический компост, производится из растительного сырья в «климатических ваннах» методом ускоренной биоферментации за счет активных микроорганизмов. Фракция компоста содержит древесную щепу, для пролонгированного действия компоста. Состав: торф низинный, торф верховой, мука известняковая, компост биотермический «Дядюшка Гумус». Агрохимические показатели в пределах: N 2-3 %; K₂O 2-3 %; P₂O₅ 2 %; рН 6,5-8; гумус 1-2 % (результаты агрохимического исследования предоставлены производителем).

2. Сапропелевые отложения Волго-Ахтубинской поймы Волгоградской области, РФ являются эффективным вносимым компонентом для стабилизации плодородных показателей почвенных структур. В рекомендациях по применению данных сапропелевых отложений уделяется акцент агрохимическому составу исходного материала для соблюдения всех норм и правил использования в качестве удобрительного компонента почвы. Агрохимические показатели испытуемого компонента находились в пределах: рН сол. 7.29; карбонаты (СО₂) не вскипает; гранулометрический состав (физ. глина, частицы <0,01 мм) 47.49 %; органическое вещество 6.85 %; зольность 86.3 %; макроэлементы (валовые формы) N 0.55 %, P₂O₅ 0.25 %, K₂O 2.24 %, Ca 3.36 % Fe 3.67 %. Химические параметры сапропелевых отложений характеризуют их как высокозольные с благоприятной рН. Были проведены исследования сапропелевых отложений на наличие тяжелых металлов. Превышения по ПДК в почве 1500 мг/кг не выявлено.

3. Торф Агробалт В верховый зеленый кислый торфяной грунт универсальный марки Агробалт-В, кислотность рН (Н₂О) 3.0-4.2, рН (КСІ) 2.5-3.04 содержание органического вещества не менее 95 % (результаты агрохимического исследования предоставлены производителем).

4. Питательный грунт представляет собой заменитель плодородной почвы. Состав: торф низинный, торф верховой, мука известняковая, компост биотермический «Дядюшка Гумус». K_2O 2-3 %, P_2O_5 1-2 %, рН 6.5-8 %), N 2-3 %), Гумус 1-2 % (результаты агрохимического исследования предоставлены производителем).

5. В качестве контрольного варианта использован песок карьерный.

6. АГ2, дерново-подзолистая почва (опытного участка ФГБНУ ВНИИФ), компост.

Для исследования грунтов были использованы следующие методики:

- определение тяжелых металлов на оптико-эмиссионном спектрометре PlasmaQuant 9100;

- определение реакции среды рН потенциометрически;

- определение органического вещества методом прокаливания;

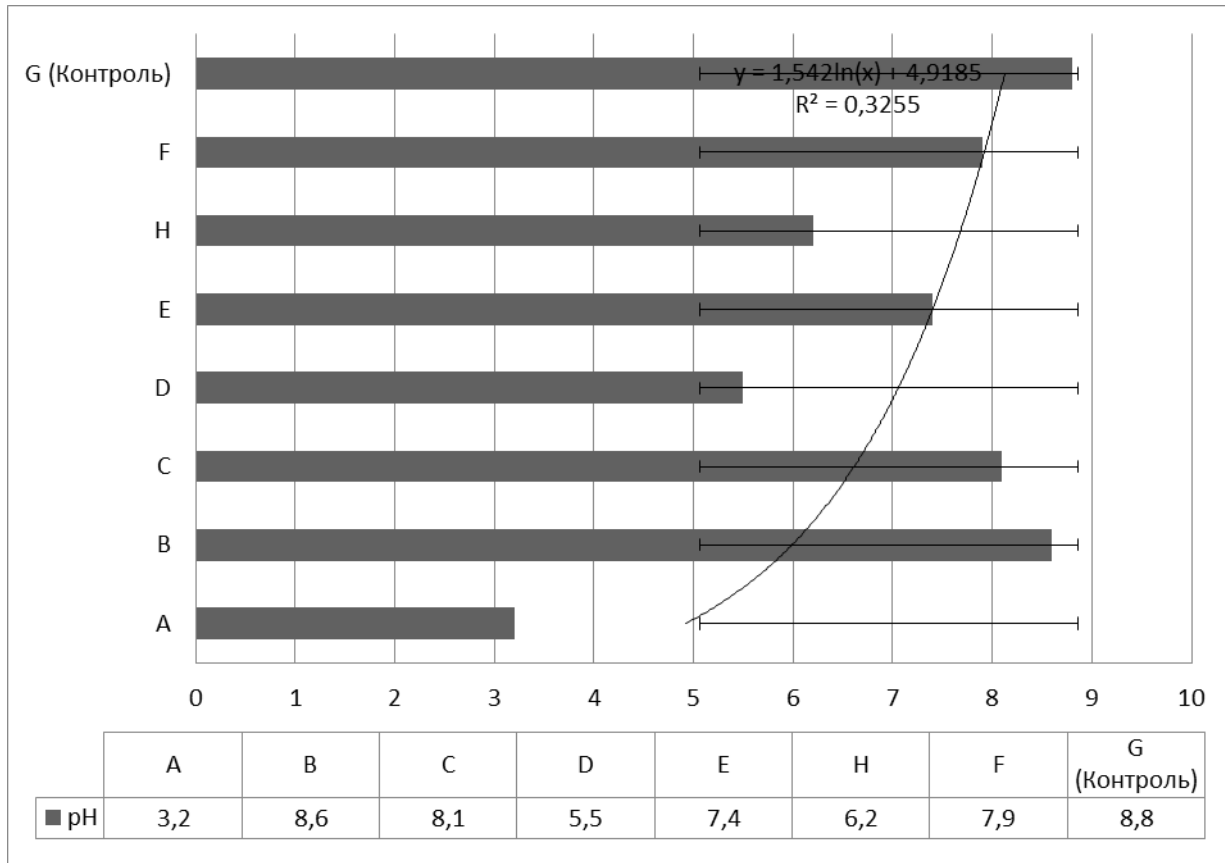
- определение гумуса методом Тюрина;

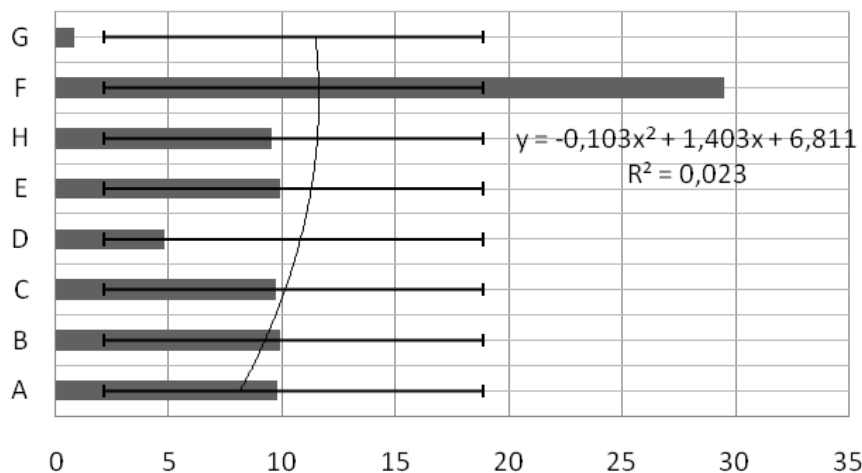
- видо-родовой состав и количество микроорганизмов в образцах грунтов стандартным методом;

- определение подвижного Р и обменного К в почве по методу Кирсанова (ГОСТ 26207-91).

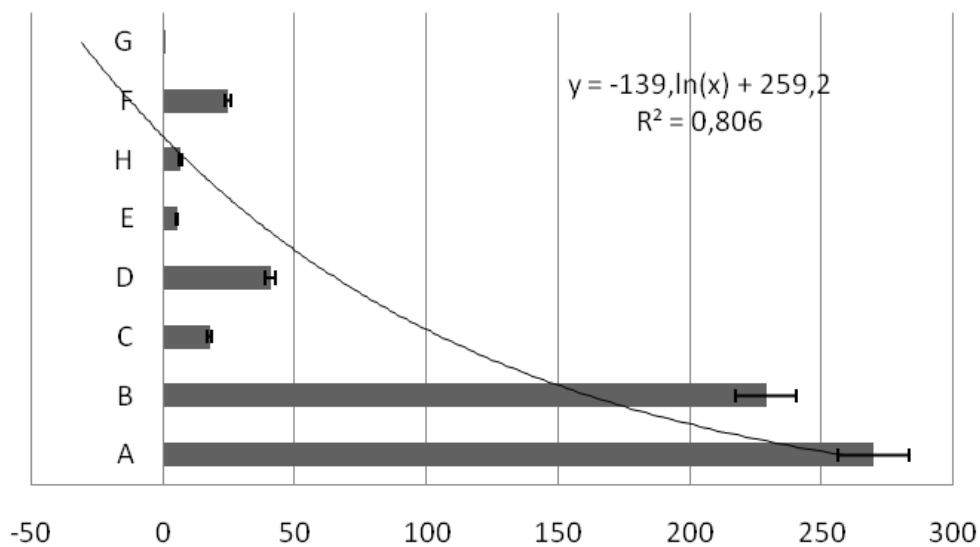
4. Результаты и обсуждение

На первом этапе испытаний все наполнители были исследованы по химической составляющей (Протокол исследования №2022/23), полученные результаты показаны на диаграммах (Рисунок 1).





	A	B	C	D	E	H	F	G
■ Содержание гумуса по Тюрину, (%)	9,8	9,9	9,7	4,8	9,9	9,54	29,5	0,84



	A	B	C	D	E	H	F	G
■ Калий, мг/г	269,7	228,8	17,5	40,7	5,1	6,5	24,5	0,7

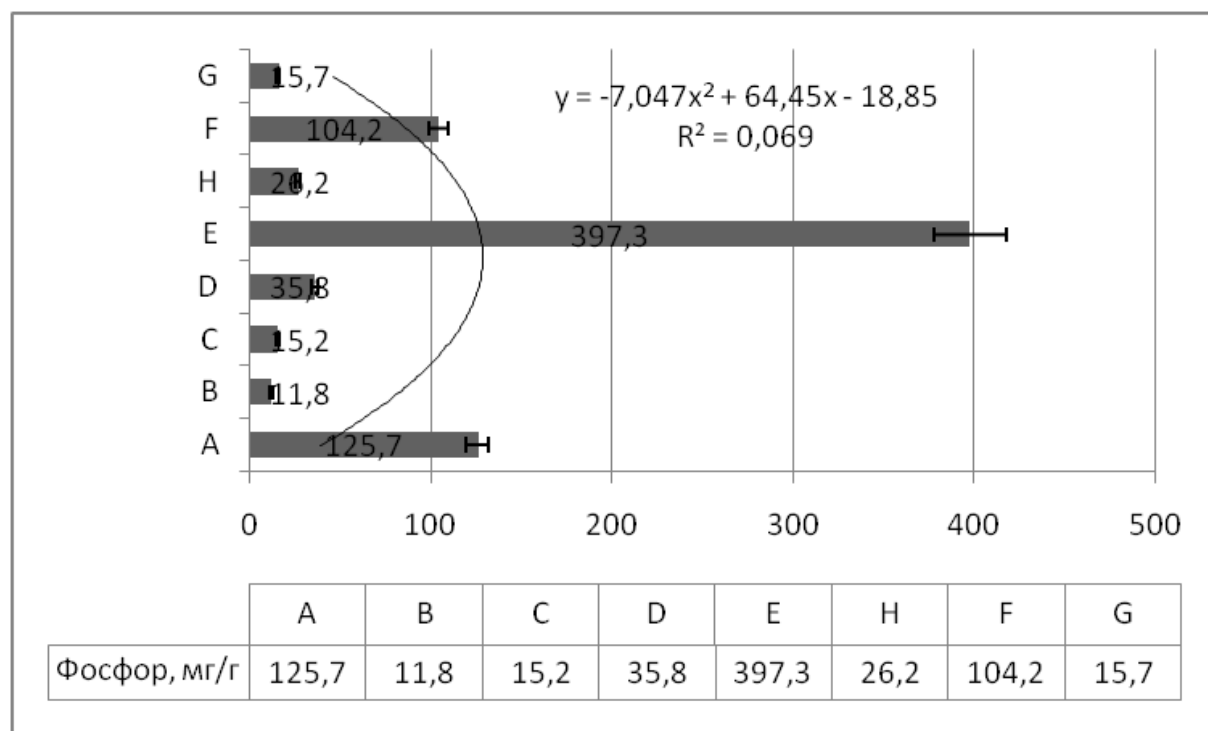


Рис. 1. Диаграмма основных показателей плодородия испытуемых образцов

Выявленный Кислотно-щелочной баланс, измеряемый в виде pH , равного значению $-\lg[H^*]$, где $[H^*]$ – концентрация ионов водорода в молях на литр, представлен следующими результатами по образцам: А, D, H – почвенные образцы с кислой реакцией среды ($pH < 7$); В,С,Е,Ф,Г – почвенные образцы со щелочной реакцией среды ($pH > 7$).

Содержание гумуса составляющее компонента в испытуемых образцах: самый большой показатель был обнаружен в образце F 29.5 %; наименьший показатель был выявлен в образце G (Контроль) 0.84 %.

По классификации гумусового содержания полученные результаты испытуемых образцов характеризуются как: жирные (сильногумусовые 9-10 %) А, В, С, Е, H, F; малогумусовые (4-5 %) D; слабогумусовые (менее 4 %) G (Контроль).

Наличие калия в доступной форме почвенной среды в испытуемых образцах оказалось приоритетным месте, так как он оказывает огромное влияние на ростовые показатели растения: наибольшее содержание К обнаружено в образцах А и В, а именно 269.7 и 228.8; наименьший показатель получен в образце G (Контроль).

Наибольшее содержание фосфора обнаружено в образце Е 397.3; наименьший показатель получен в образце В 11.8.

Полученные результаты определили наличие необходимых для роста и развития растения компонентов плодородия в представленных образцах, при этом просматривается несбалансированность по кислотно-щелочному балансу почвенной среды.

Немаловажным показателем при формировании почвенной смеси является наличие в её составе микроорганизмов. Обозначенные образцы были исследованы на присутствие микроорганизмов, результаты проанализированы и представляют характеристику каждого образца. Так в образцах были выявлены следующие патогенные формы: А – *Trichoderma*, *Penicillium waksmanii*, *Penicillium implicifum*, *Aspergillum nidulans*; В – *Trichoderma*, *Fusarium*, *Fusarium spp*, *Penicillium*, Стерильный мицелий, Бактерии; С – *Trichoderma*, *Fusarium solani*, *Fusarium spp*, *Penicillium*, Стерильный мицелий, Бактерии, *Mucor*; D – *Trichoderma*, *Fusarium solani*, *Fusarium spp*, *Clonostachys*, *Pythium*, Стерильный мицелий, *Mucor moelleri*, *Mucor*; Е – *Trichoderma*, *Clonostachys*, *Artholofoy* (хищный гриб), *Aspergillum nidulans*, Бактерии, *Homicola*, *Artrobodrys*; H – *Clonostachys*, *Scopulanopsis*, Стерильный мицелий, *Acremonium*, *Botryotrichum*; F – *Trichoderma*, *Fusarium solani*,

Penicillium, Clonostachys, Scopulanopsis, Coniothyrium, Mucor; G (Контроль) – *Phoma, Alternaria spp*, Стерильный мицелий, Дрожжи, Бактерии, *Mucor*.

На втором этапе исследования были составлены варианты эксперимента в полевых условиях с рекомендованным дозированием вносимых препаратов. В опыте изучали влияние органических удобрений на урожайность и развитие тестируемых овощных культур в открытом грунте. Исследования проводились на опытном поле ВНИИФ. В данной статье отражены полученные результаты по тест-культуре огурец сорта «Престиж F1» компании «СеДеК». Сорт раннеспелый, вегетационный период составляет 42-45 дней. Сорт предназначен для выращивания в открытом грунте. Плоды зеленые, короткоплодные, шипастые, длина 8-10 см, масса 65-90 г. Достоинства сорта – высокий выход товарной продукции, устойчивость к заморозкам и болезням. Схема посадки 0,7 × 0,7 м. Севооборот за предшествующие три года: 2019 г. – картофель; 2020 г. – черный пар; 2021 г. – озимая пшеница.

Схема опыта: А – контроль без внесения удобрений; В 30 т/га; С 50 т/га; D 60 т/га; E 70 т/га. Полученные результаты представлены в [Таблице 2](#) по вариантам исследования.

Таблица 2. Параметры при снятии плодов тестируемой культуры

Вариант	Средняя масса плода, г	Средняя длина плода, см	Урожайность, кг/м ²
A	119.10	11.54	1.6
B	86.11	2.75	0.8
C	102.35	2.80	1.4
D	114.88	3.09	2.0
E	79.14	2.67	1.2

По результатам исследования получены данные по характерным отклонениям в рекомендованных дозах при использовании предлагаемых смесей, был выделен вариант D с урожайностью 2,0 кг/м².

Следующий, третий этап исследования предусматривал изучение вносимых в почвенные смеси компонентов на определение показатели плодородия. Изучено взаимодействие почвенных смесей на ростовые особенности огурца сорта «Удалые молодцы» в подготовленные образцы произведен посев тестируемой культуры. Закладка Опыт выполнен в 4-х кратной повторности согласно, разработанной схеме и осуществлена в Центре коллективного пользования «Лаборатория искусственного климата» ФГБНУ ВНИИФ с прогнозируемыми климатическими параметрами: температура воздуха 25 °С, влажность почвы 75-80 % от наименьшей влагоемкости (НВ), световые параметры – день-ночь. Результаты исследований за 14-дневный период отражены в [Таблице 3](#).

Таблица 3. Фенологические наблюдения огурца сорта «Удалые молодцы», %

№№ п.п.	Почвенный наполнитель	Среднее значение по всхожести за фазу вегетации, %	Отклонение всхожести, ±
1	A	54.5	-37.5
2	B	60.9	-31.1
3	C	60.2	-31.8
4	D	52.0	-40.0
5	E	–	-92.0
6	H	44.0	-48.0
7	F	48.0	-44.0
8	G	61.1	-30.9

Полученные результаты на проявление плодородных показателей в представленных образцах по ростовым особенностям тест-культуры выявили, что при процентной всхожести

семян тест-культуры в 92 % присутствует несостоятельность отдельных компонентов в виде самостоятельной почвенной среды для возделывания тестируемой культуры. Все образцы не обеспечили необходимые условия для первоначального этапа роста и развития растения. При фенологическом наблюдении на фазе всходов были потери: образец Е, является непригодной почвенной средой с точки зрения всхожести семенного материала тестируемой культуры. Потеря всхожести растений тест-культуры составила 92,0 %; образец Н показал потерю 48,0 %; наименьшие потери были в образце G (Контроль) 30,9 %.

По результатам исследований наилучшие результаты по скорости всходов 12-ти из 15-ти семян показал грунт в варианте Н. Наилучший результат по всхожести показал грунт Н 81,7 %. Варианты D, E показали наименьшую всхожесть 10,0 и 1,7 %. В других вариантах всхожесть от 50 до 68,3 %. На 13-й день в вариантах С, F, G, Н отмечены растения с настоящим листом. Лучшие показатели имели место в варианте Н 93,75 % (Рисунок 2).

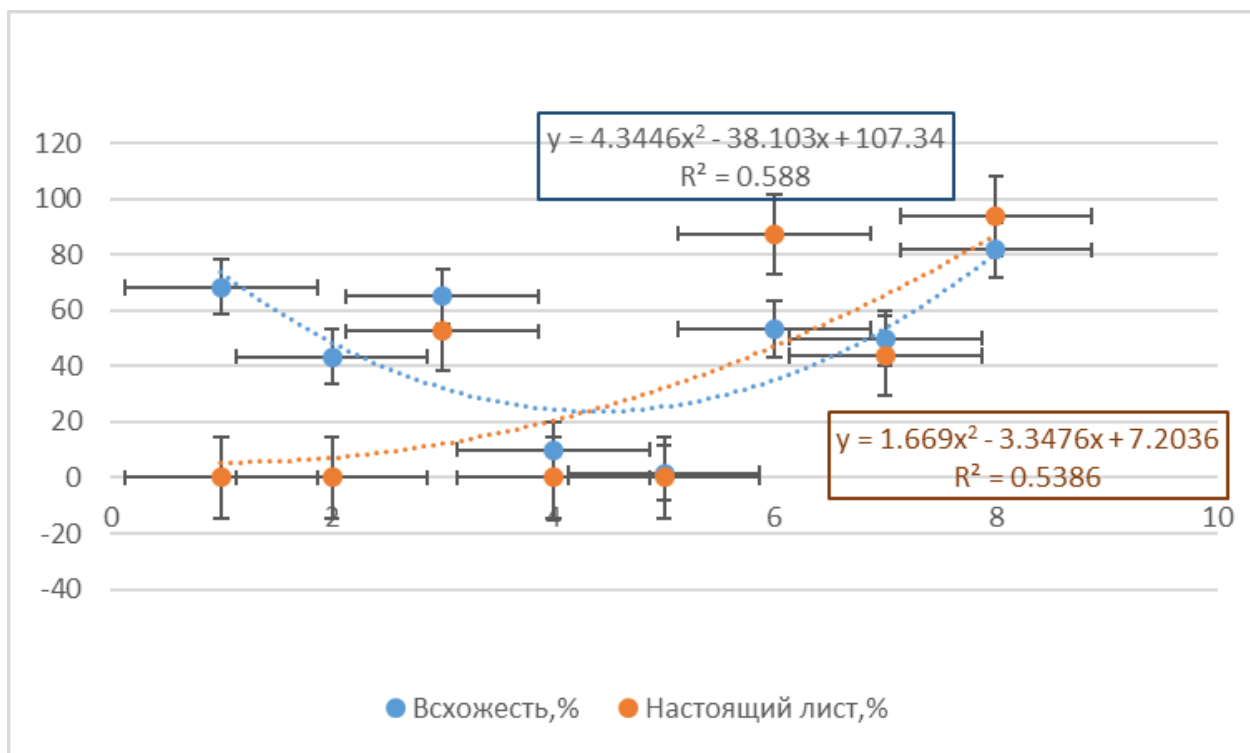


Рис. 2. Всхожесть семян и доля растений с настоящим листом на 13-й день после посева

В варианте G зарегистрирована нулевая всхожесть, В, D, E всхожесть не выше 5 %, и в вариант А 10 %. При первом учёте только один вариант Н имел всхожесть, соответствующую семенам 2 класса (более 70 %). Ни в одном варианте не достигнута всхожесть 1 класса семян (более 90 %). При последнем учёте (через 4 недели) всхожесть в варианте Н составила 50 %, С 25 %, F 15 %, А 10 % и в варианте D 1,7 %. В вариантах D, E, G живых растений не было. Все выявленные показатели были проанализированы и применены при составлении почвенных смесей на следующем этапе исследования.

На четвертом этапе исследования сформированы почвенные смеси с программированным результатом с тест-культурой – яровая пшеница «Агата» по выявлению зависимости ростовых процессов и выживаемости пшеницы при ранних этапах онтогенеза.

Данная схема высева семенного материала состояла из 41 учетного семени (Рисунок 3). Расположение семян в ячейке обеспечивает полное использование подготовленных образцов по площади питания, что обеспечивает использование всех составляющих компонентов в полном объеме.



Рис. 3. Схема посева семян яровой пшеницы сорта «Агата» (Россия)

По истечении испытательного срока, все образцы были подготовлены для проведения этапа контрольных измерений в опытных исследованиях (Таблица 4).

Таблица 4. Результаты исследования ростовых особенностей яровой пшеницы по вариантам эксперимента

№ п.п.	Вариант	Без фоновой нагрузки							С фоновой нагрузкой						
		Длина coleoptиле, см	Длина листа, см	Длина корней, см (показатель по 4 основным корням)				Выживаемость, %	Длина coleoptиле, см	Длина листа, см	Длина корней, см (показатель по 4 основным корням)				Выживаемость, %
				1	2	3	4				1	2	3	4	
1	АН	2,1	8,3	6,7	4,8	4,1	3,1	91,4	1,5	4,1	3,4	3,1	2,6	1,7	32,3
2	АЕГ	1,7	6,4	5,2	3,9	3,3	2,0	57,3	1,6	2,5	2,9	2,3	1,7	1,2	19,5
3	АЕ	2,4	6,9	5,8	5,0	5,0	2,9	90,8	1,6	3,0	2,7	2,1	1,4	1,0	38,4
4	АЕД	2,9	8,5	7,1	5,9	5,1	4,8	95,7	2,3	4,8	3,8	3,1	2,3	0,9	79,2
5	АЕФ	2,1	8,3	5,9	5,5	4,7	2,2	91,6	1,6	3,8	3,0	2,0	1,7	0,9	31,4
6	АЕР	2,1	7,4	5,4	5,0	4,0	2,1	90,2	1,5	3,9	3,2	1,9	1,5	0,4	30,0

Лабораторные исследования в специально подготовленных искусственных условиях регламентировали согласно регламенту учета полученных данных. Учет показателей развития корневой системы проводили по основным сформировавшимся корешкам в усредненных показателях, т.к. основная цель была рассмотреть влияние подготовленных почвенных образцов на ростовые особенности яровой пшеницы сорта «Агата» в проецируемых условиях жизнеобеспечения – фактор 3 яровая пшеница сорта «Агата» (РФ) (А); питательный грунт (Н); органическое удобрение «Дядюшка гумус» (G); светло-каштановая почва (Е); сапротелевые отложения (D); ГУМОСТИМ (F); гуминовые удобрения Гуми-90 (R); без фона.

– фактор 4 – яровая пшеница сорта «Агата» (РФ) (А); Питательный грунт (Н); органическое удобрение «Дядюшка гумус» (G); светло-каштановая почва (Е); сапротелевые отложения (D); ГУМОСТИМ (F); гуминовые удобрения Гуми-90 (R); фоновая нагрузка при искусственном заражении (*Fusarium avenaceum Fa-1*). В ходе составления объемной характеристики проведенного исследования были анализированы результаты по выживаемости яровой пшеницы в процентном соотношении. Сравнительные

характеристики проведенного исследования хорошо прослеживаются на графике (Рисунок 4).

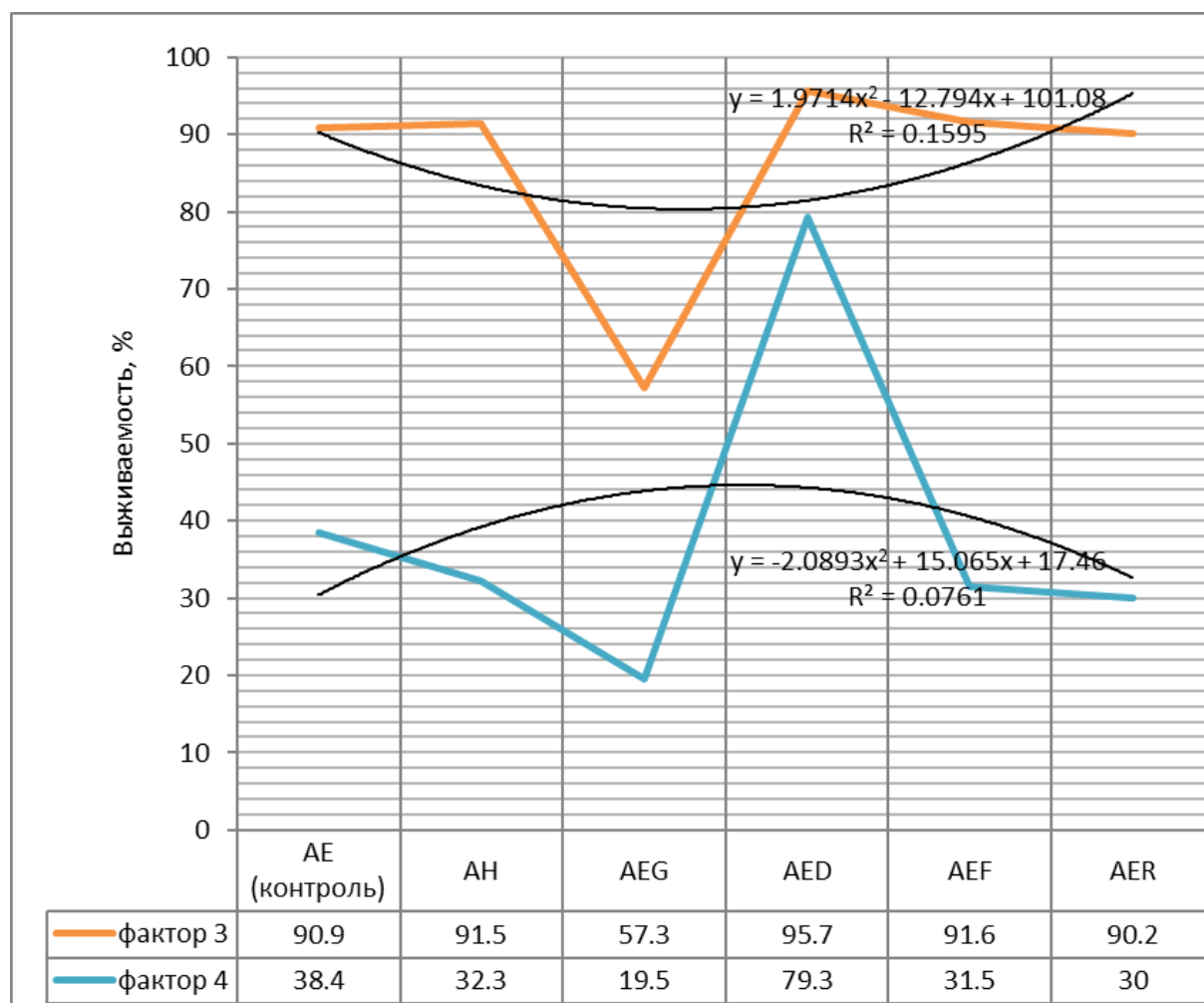


Рис. 4. Выживаемости растений яровой пшеницы по регулируемым факторам

В созданных условиях произрастания яровой пшеницы сорта «Агата» по фактору 3 прослеживается положительная динамика развития семенного материала по вариантам АН, АЕ, АЕД, АЕФ и АЕР, где выживаемость составила от 91 % до 96 %. Вариант АЕГ показал результат в 58 % выживаемости.

В условиях фоновой нагрузки (фактор 4) показатели выживаемости яровой пшеницы по всем вариантам снижались по вариантам: АН в 2.83 раза; АЕГ в 2.96 раза; АЕ (Контроль) в 2.37 раза; АЕД в 1.21 раза; АЕФ в 2.9 раза; АЕР в 3.0 раза.

Следующий этап исследования состоял в сравнительном анализе использования трехкомпонентной почвенной смеси для формирования почвенной среды. Были подготовлены образцы из наполнителя: песок карьерный, органическое удобрений «Дядюшка гумус», сапропелевые отложения волго-Ахтубинской поймы (субъект добычи - Волгоградская область, РФ), АГ2 осадочные отложения производственного цикла. Схема опытных образцов: 1 вариант 40 % песок + 30 % сапропель (В-Ахт. поймы) + 30 % орг. удобрен. «Дядюшка Гумус» ($D_{40+30+30}$); 2 вариант 40 % песок + 50 % орг. удобрен. «Дядюшка Гумус» + 10% сапропель (В-Ахт. поймы) ($D_{40+50+10}$); 3 вариант 40 % песок + 30 % АГ2 + 30 % орг. удобрен. «Дядюшка Гумус» ($E_{40+30+30}$); 4 вариант 40 % песок + 50 % орг. удобрен. «Дядюшка Гумус» + 10 % АГ2 ($E_{40+30+30}$).

Полученные в опыте результаты различаются по подготовленным образцам (Рисунок 5).

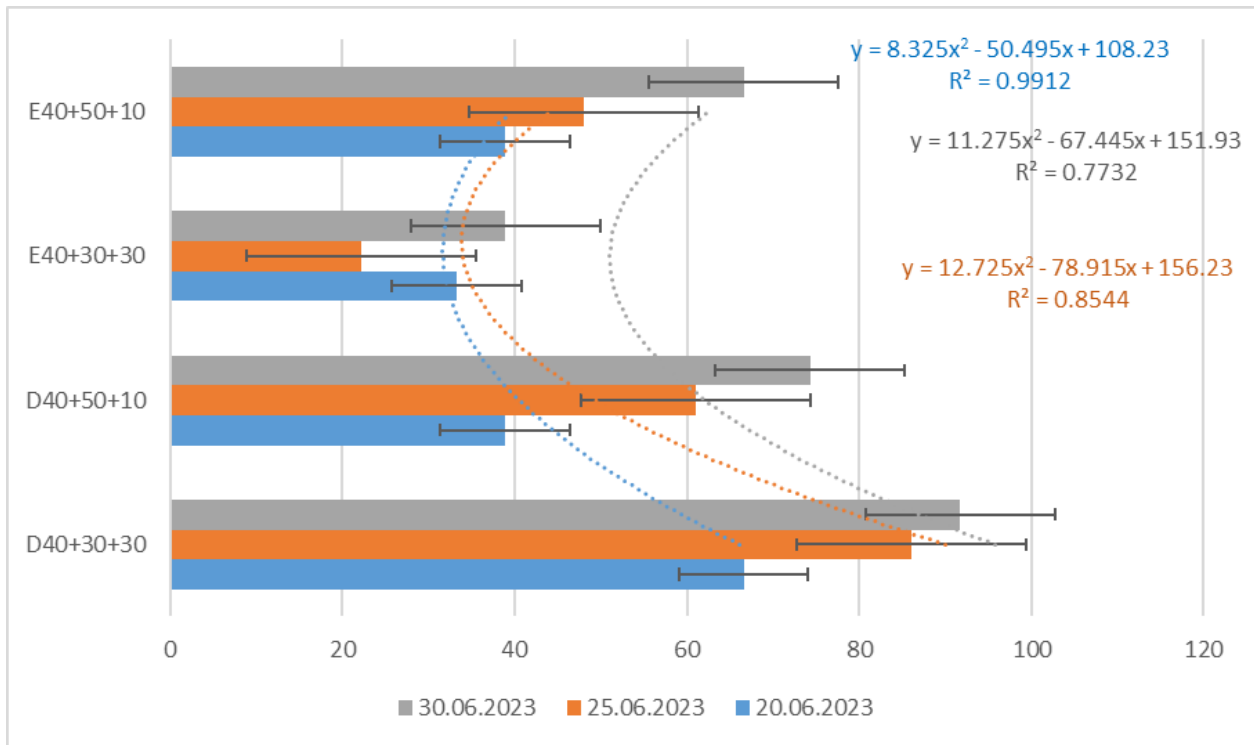


Рис. 5. Всхожесть растений по вариантам опыта

За исследуемый период были зафиксированы результаты по датам. Так на первую фиксированную дату по вариантам был выделен один вариант с всхожестью 66.6 %. На вторую фиксированную дату также был выделен один вариант 86.1 % и на третью фиксированную дату также было проявление одного варианта 91.7 %. Второй по значимости был вариант 2 со значениями 38.9; 61.1 и 74.3 %. Сапропелевые отложения Волго-Ахтубинской поймы хорошо сочетаются в структурном соотношении с песком и органическим удобрением «Дядюшка Гумус» в соотношении: песок 40 %, сапропель Волго-Ахтубинской поймы 30 % и органическое удобрение «Дядюшка Гумус» 30 %.

По вариантам 3 и 4 выявлены неоднозначные результаты. Лучший вариант 4 с наименьшей дозой АГ2 дал всхожесть 38.9, 48.1 и 66.6 %. Самый неэффективный вариант 3 имел показатели всхожести 33.3, 22.2, и 38.9 %.

Следующий рассматриваемый параметр тест-культуры – высота проростков (Рисунок 6).

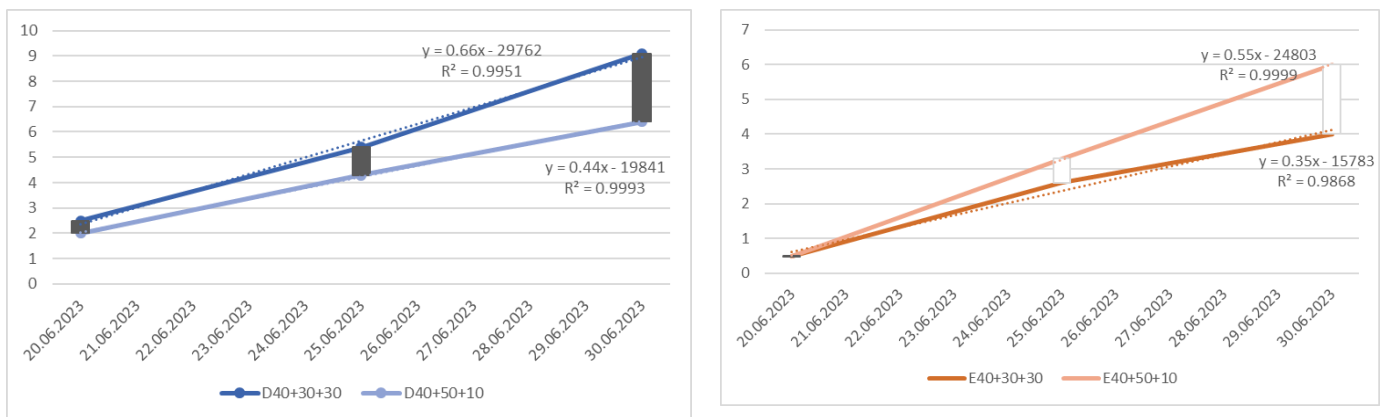


Рис. 6. Показатели роста по фиксированным датам измерения

По ростовым показателям на фиксированные даты измерений различия вариантов опыта проявлялись в том же порядке по вариантам 1, 2, 4. Вариант 4 был самый неэффективный.

5. Заключение

Проведенные исследования характеризуют представленные образцы почвогрунтов как недостаточное средство для достижения искомых показателей плодородия питательной среды при возделывании тестируемой культуры. Ни один из представленных образцов не имеет сбалансированной целевой кислотно-щелочной среды рН 6.5-7. Наибольшее содержание К обнаружено в образцах А и В, наименьшее в образце G (Контроль). Наибольшее содержание фосфора обнаружено в образце Е, а наименьший показатель зарегистрирован в образце В.

На основании фенологических наблюдений, образец, представленный в схеме Е, является непригодной почвенной средой для обеспечения всхожести семенного материала тестируемой культуры, снижение всхожести составило 92 %. В варианте Н потеря всхожести составила 48.0 %. Наименьшая потеря всхожести была в образце G (Контроль) 30.9 %.

На основании проведенного исследования следует полагать, что рассмотренные образцы почвогрунтов могут быть применены в качестве компонентов почвенных смесей, но их ценность как носителей плодородия требует исследования путей концентрации вещественного состава, что будет предметом дальнейших исследований.

Литература

Авдеенко, Буракова, 2023 – Авдеенко С.С., Буракова Е.А. Плюсы и минусы органических удобрений / *Современные исследования и научные достижения в эпоху цифровизации: новые ориентиры и возможности: Материалы I Всероссийской научно-практической конференции, Ставрополь, 20 января 2023 год*. Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью "Ставропольское издательство "Параграф". С. 211-213.

Бастаева и др., 2022 – Бастаева Г.Т., Несват А.П., Лявданская О.А., Севостьянов М.А. Перспективность использования почвогрунтов на основе компостов в городском озеленении // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 6(98): 30-37. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-98-6-30-37

Водолазко, Иванцова, 2019 – Водолазко А.Н., Иванцова Е.А. Бонитировка почв сельскохозяйственных земель с учетом загрязнения тяжелыми металлами (на примере Волгоградской области) // *Известия КГТУ*. 2019. 54: 20-30.

Воликов, 2022 – Воликов С.В. Апробация почвогрунтов при выращивании редиса / VII Докучаевские молодежные чтения "Устойчивость почвенного покрова и продуктивность экосистем": *Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 70-летию Красноярского государственного аграрного университета, Красноярск, 22 декабря 2022 года*. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет. С. 80-82.

Глинушкин и др., 2018 – Глинушкин А.П., Свиридова Л.Л., Севостьянов М.А., Сычева И.И., Гришина Е.В. Почвогрунт: обзор методов получения и возможностей применения // *Биотика*. 6(25): 10-19.

Долганова, 2022 – Долганова Д.А. Влияние пестицидов на почвенную биоту / VII Докучаевские молодежные чтения "Устойчивость почвенного покрова и продуктивность экосистем": *Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 70-летию Красноярского государственного аграрного университета, Красноярск, 22 декабря 2022 года*, Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет. С. 22-24.

Евдаков, 2023 – Евдакова М.В. Воздействие пестицидов на микроорганизмы почвы / *Здоровые почвы – гарант устойчивого развития: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, посвященной 140-летию с момента становления почвоведения как науки и публикации фундаментального труда В.В. Докучаева "Русский чернозем", Курск, 30–31 марта 2023 года*. Курск: Курский государственный университет. С. 63-65.

Митченко и др., 2023 – Митченко А.С., Несговорова Н.П., Савельев В.Г. Биоиндикация содержания селена в почвах луговых сообществ / Молодежь в поисках разрешения современных экологических вызовов: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Курган, 10–14 апреля 2023 года. Курган: Курганский государственный университет. С. 130-134.

Панкин и др., 2006 – Панкин А.А., Линник В.Н., Молоток Е.В. Исследование межфазного распределения ионов тяжелых металлов в статическом режиме серой лесной почвой // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. 2006. 4: 165-170.

Савицкая, 2023 – Савицкая С.Р. Влияние минеральных удобрений на плодородность почвы / Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России: Сборник статей XXI Международной научно-практической конференции, Пенза, 23-24 января 2023 года. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет. С. 230-232.

Свиридова и др., 2020 – Свиридова Л.Л., Проклин В.В., Гришина Е.В., Сычева И.И., Севостьянов М.А. Определение влияния составленных почвосмесей на корневую систему картофеля и пшеницы // Биотика. 2(33): 9-14.

Серета, Постолов, 2023 – Серета Т.И., Постолов А.П. Оценка воздействия АО «Михеевский ГОК» на окружающую среду по экологическому состоянию почв / Интеграция и устойчивость зеленой инфраструктуры: материалы Международной молодежной научной школы-конференции, Воронеж, 24 марта 2023 года, Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова. С. 293-298. DOI: 10.58168/ISGreenI2023_293-298.

Сидоренко, 2022 – Сидоренко С.А. Трансформация черноземов обыкновенных Оренбургской области в условиях искусственных барьеров // Ашировские чтения. 2022. 2. 1(13): 88-96.

Чернышев, 2023 – Чернышев А.В. Содержание тяжелых металлов (ТМ) в почве в местах произрастания *Solidago gigantea* Ait / Инновационные научные исследования 2023: естественные и технические науки: Сборник материалов XXVI международной очно-заочной научно-практической конференции, Москва, 19 апреля 2023 года. М.: Научно-издательский центр "Империум". С. 143-147.

Яковлева, 2018 – Яковлева О.В. Фитотоксичность ионов алюминия // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 179(3): 315-331. DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-315-331.

Jobbady et al., 2023 – Jobbágy J., Krištof K., Angelovič M., Zsembeli J. Evaluation of Soil Infiltration Variability in Compacted and Uncompacted Soil Using Two Devices // *Water*. 2023. 15(10): 1918. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15101918>

Kabasiita et al., 2022 – Kabasiita J.K., Opolot E., Malinga G.M. (2022). Quality and Fertility Assessments of Municipal Solid Waste Compost Produced from Cleaner Development Mechanism Compost Projects: A Case Study from Uganda // *Agriculture*. 2022. 12(5): 582. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12050582>

Moon et al., 2022 – Moon D.H., Koutsospyros A. Stabilization of Lead-Contaminated Mine Soil Using Natural Waste Materials // *Agriculture*. 2022. 12(3): 367. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12030367>

Mosbahi et al., 2023 – Mosbahi M., Kassouk Z., Benabdallah S., Aouissi J., Arbi R., Mrad M., Blake R., Norouzi H., Béjaoui B. (2023). Modeling Hydrological Responses to Land Use Change in Sejnane Watershed, Northern Tunisia // *Water*. 2023. 15(9): 1737. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15091737>

Pang et al., 2023 – Pang Z., Xu H., Chen C., Zhang G., Fan X., Wu J., Kan H. (2023). Comparing Water Use Characteristics of *Bromus inermis* and *Medicago sativa* Revegetating Degraded Land in Agro-Pasture Ecotone in North China // *Water*. 2023. 15(1): 55. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15010055>

Wang et al., 2023 – Wang L., Lu J., Zhou R., Duan G., Wen Z. Analysis of Soil Moisture Change Characteristics and Influencing Factors of Grassland on the Tibetan Plateau // *Remote Sens*. 2023. 15(2): 298. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15020298>

References

- Avdeenko, Burakova, 2023** – Avdeenko, S.S., Burakova, E.A. (2023). Plyusy i minusy organicheskikh udobrenii [Pros and cons of organic fertilizers]. *Sovremennyye issledovaniya i nauchnye dostizheniya v epokhu tsifrovizatsii: novye orientiry i vozmozhnosti: Materialy I Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Stavropol', 20 yanvarya 2023 god.* Stavropol': Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'yu "Stavropol'skoe izdatel'stvo "Paragraf". Pp. 211-213. [in Russian]
- Bastaeva i dr., 2022** – Bastaeva, G.T., Nesvat, A.P., Lyavdanskaya, O.A., Sevost'yanov, M.A. (2022). Perspektivnost' ispol'zovaniya pochvogrunтов na osnove kompostov v gorodskom ozelenenii [Prospects for the use of soils based on composts in urban gardening]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 6(98): 30-37. DOI: 10.37670/2073-0853-2022-98-6-30-37 [in Russian]
- Chernyshev, 2023** – Chernyshev, A.V. (2023). Soderzhanie tyazhelykh metallov (TM) v pochve v mestakh proizrastaniya *Solidago gigantea* Ait [The content of heavy metals (HM) in the soil in the places where *Solidago gigantea* Ait grows]. *Innovatsionnye nauchnye issledovaniya 2023: estestvennye i tekhnicheskie nauki: Sbornik materialov XXVI mezhdunarodnoi ochno-zaochnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii.* Moskva, 19 aprelya 2023 goda. M.: Nauchno-izdatel'skii tsentr "Imperiya". Pp. 143-147. [in Russian]
- Dolganova, 2022** – Dolganova, D.A. (2022). Vliyanie pestitsidov na pochvennyuyu biotu [The impact of pesticides on soil biota]. *VII Dokuchaevskie molodezhnye chteniya "Ustoichivost' pochvennogo pokrova i produktivnost' ekosistem": Materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 70-letiyu Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, Krasnoyarsk, 22 dekabrya 2022 goda.* Krasnoyarsk: Krasnoyarskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet. Pp. 22-24. [in Russian]
- Evdakov, 2023** – Evdakova, M.V. (2023). Vozdeistvie pestitsidov na mikroorganizmy pochvy [The impact of pesticides on soil microorganisms]. *Zdorovye pochvy – garant ustoichivogo razvitiya: Sbornik materialov VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 140-letiyu s momenta stanovleniya pochvovedeniya kak nauki i publikatsii fundamental'nogo truda V.V. Dokuchaeva "Russkii chernozem", Kursk, 30–31 marta 2023 goda.* Kursk: Kurskii gosudarstvennyi universitet. Pp. 63-65. [in Russian]
- Glinushkin i dr., 2018** – Glinushkin, A.P., Sviridova, L.L., Sevost'yanov, M.A., Sycheva, I.I., Grishina, E.V. (2018). Pochvogrunt: obzor metodov polucheniya i vozmozhnostei primeneniya [Soil: a review of production methods and application possibilities]. *Biotika.* 6(25): 10-19. [in Russian]
- Jobbady et al., 2023** – Jobbágy, J., Krištof, K., Angelovič, M., Zsembeli, J. (2023). Evaluation of Soil Infiltration Variability in Compacted and Uncompacted Soil Using Two Devices. *Water.* 15(10): 1918. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15101918>
- Kabasiita et al., 2022** – Kabasiita, J.K., Opolot, E., Malinga, G.M. (2022). Quality and Fertility Assessments of Municipal Solid Waste Compost Produced from Cleaner Development Mechanism Compost Projects: A Case Study from Uganda. *Agriculture.* 12(5): 582. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12050582>
- Mitchenko i dr., 2023** – Mitchenko, A.S., Nesgovorova, N.P., Savel'ev, V.G. (2023). Bioindikatsiya soderzhaniya selena v pochvakh lugovykh soobshchestv [Bioindication of selenium content in soils of meadow communities]. *Molodezh' v poiskakh razresheniya sovremennykh ekologicheskikh vyzovov: Sbornik materialov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Kurgan, 10–14 aprelya 2023 goda.* Kurgan: Kurganskii gosudarstvennyi universitet. Pp. 130-134. [in Russian]
- Moon et al., 2022** – Moon, D.H., Koutsospyros, A. (2022). Stabilization of Lead-Contaminated Mine Soil Using Natural Waste Materials. *Agriculture.* 12(3): 367. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12030367>
- Mosbahi et al., 2023** – Mosbahi, M., Kassouk, Z., Benabdallah, S., Aouissi, J., Arbi, R., Mrad, M., Blake, R., Norouzi, H., Béjaoui, B. (2023). Modeling Hydrological Responses to Land Use Change in Sejnane Watershed, Northern Tunisia. *Water.* 15(9): 1737. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15091737>
- Pang et al., 2023** – Pang, Z., Xu, H., Chen, C., Zhang, G., Fan, X., Wu, J., Kan, H. (2023). Comparing Water Use Characteristics of *Bromus inermis* and *Medicago sativa* Revegetating

Degraded Land in Agro-Pasture Ecotone in North China. *Water*. 15(1): 55. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15010055>

[Pankin i dr., 2006](#) – Pankin, A.A., Linnik, V.N., Molotok, E.V. (2006). Issledovanie mezhfaznogo raspredeleniya ionov tyazhelykh metallov v staticheskom rezhime seroi lesnoi pochvoi [Study of the interfacial distribution of heavy metal ions in a static mode in gray forest soil]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta*. Seriya S. Fundamental'nye nauki. 4: 165-170. [in Russian]

[Savitskaya, 2023](#) – Savitskaya, S.R. (2023). Vliyanie mineral'nykh udobrenii na plodorodnost' pochvy [The influence of mineral fertilizers on soil fertility]. *Prirodnouresursnyi potentsial, ekologiya i ustoichivoe razvitie regionov Rossii: Sbornik statei XXI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Penza, 23-24 yanvarya 2023 goda*. Penza: Penzenskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet. Pp. 230-232. [in Russian]

[Sereda, Postolov, 2023](#) – Sereda, T.I., Postolov, A.P. (2023). Otsenka vozdeistviya AO «Mikheevskii GOK» na okruzhayushchuyu sredu po ekologicheskomu sostoyaniyu pochv [Assessment of the environmental impact of JSC Mikheevsky GOK on the ecological state of soils]. *Integratsiya i ustoichivost' zelenoi infrastruktury: materialy Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi shkoly-konferentsii, Voronezh, 24 marta 2023 goda, Voronezh: Voronezhskii gosudarstvennyi lesotekhnicheskii universitet im. G.F. Morozova*. Pp. 293-298. DOI: 10.58168/ISGreenI2023_293-298 [in Russian]

[Sidorenko, 2022](#) – Sidorenko, S.A. (2022). Transformatsiya chernozemov obyknovennykh Orenburgskoi oblasti v usloviyakh iskusstvennykh bar'erov [Transformation of ordinary chernozems in the Orenburg region under conditions of artificial barriers]. *Ashirovskie chteniya*. 2. 1(13): 88-96. [in Russian]

[Sviridova i dr., 2020](#) – Sviridova, L.L., Proklin, V.V., Grishina, E.V., Sycheva, I.I., Sevost'yanov, M.A. (2020). Opredelenie vliyaniya sostavlenykh pochvosmesei na kornevuyu sistemu kartofelya i pshenitsy [Determination of the effect of formulated soil mixtures on the root system of potatoes and wheat]. *Biotika*. 2(33): 9-14. [in Russian]

[Vodolazko, Ivantsova, 2019](#) – Vodolazko, A.N., Ivantsova, E.A. (2019). Bonitirovka pochv sel'skokhozyaistvennykh zemel' s uchetom zagryazneniya tyazhelymi metallami (na primere Volgogradskoi oblasti) [Grading of soils of agricultural lands, taking into account heavy metal pollution (on the example of the Volgograd region)]. *Izvestiya KGTU*. 54: 20-30. [in Russian]

[Volikov, 2022](#) – Volikov, S.V. (2022). Aprobatsiya pochvogrunтов pri vyrashchivani redisa [Approbaton of soils when growing radish]. *VII Dokuchaevskie molodezhnye chteniya "Ustoichivost' pochvennogo pokrova i produktivnost' ekosistem": Materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 70-letiyu Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. Krasnoyarsk, 22 dekabrya 2022 goda. Krasnoyarsk: Krasnoyarskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet. Pp. 80-82. [in Russian]

[Wang et al, 2023](#) – Wang, L., Lu, J., Zhou, R., Duan, G., Wen, Z. (2023). Analysis of Soil Moisture Change Characteristics and Influencing Factors of Grassland on the Tibetan Plateau. *Remote Sens*. 15(2): 298. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15020298>

[Yakovleva, 2018](#) – Yakovleva, O.V. (2018). Fitotoksichnost' ionov alyuminiya [Phytotoxicity of aluminum ions]. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii*. 179(3): 315-331. DOI: 10.30901/2227-8834-2018-3-315-331 [in Russian]

Поиск оптимального состава почвенных наполнителей

Л.Л. Свиридова ^{a,*}, М.Г. Барышев ^a, М.А. Севостьянов ^a, В.М. Андреевская ^a, С.В. Железова ^a, Е.В. Гришина ^a, José L. Hernández Cáceres ^b, Zafarjon Jabbarov ^d, Urol Nomozov ^d, Shovkat Kholdorov ^{c,d}, Daniel Asiamah Aboagye ^{c,e}

^a Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Российская Федерация

^b Cuban Center for Neurosciences, Куба

* Корреспондирующий автор

Адрес электронной почты: Larina67@bk.ru (Л.Л. Свиридова)

^c Graduate School of Agriculture of the Tokyo University of Agriculture and Technology, Япония

^d Department of Soil Science of the National University of Uzbekistan, Республика Узбекистан

^e Department of Soil Science of the University of Ghana, Гана

Аннотация. В рассматриваемой статье представлен результат по консолидации информационного материала и поисковых исследований в оптимизации оптимального состава почвенных наполнителей. Исходные сырьевые компоненты зачастую не соответствуют требованиям по агрохимическому анализу и их внесение в почвенную среду не может гарантировать запланированный результат. Достижение запрограммированных результатов может быть достигнута: за счет информированных данных об исходном компоненте; условий, в которых будет происходить почвообразование; заявленной потребности растительного сообщества для жизнеобеспечения и оптимизации полученного состава за счет вносимых дополнительных компонентов.

В данной статье приводятся результаты исследований по составленным образцам почвенных смесей с использованием природных компонентов и переработанных производственных отходов. Объектами исследований являются образцы, предназначенные для выращивания растений (по целевому заказу); эталонные образцы почвогрунтов представленные на рынке; гумусосодержащие препараты научных и научно-производственных организаций; сапротелевые отложения Волго-Ахтубинской поймы; сорта тестируемых культур; штаммы микроорганизмов стрессоров и патогенов с Центра коллективного пользования «Государственная коллекция фитопатогенных микроорганизмов и сортов-идентификаторов (дифференциаторов) патогенных штаммов микроорганизмов» Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии»

Ключевые слова: почвенные наполнители, плодородие почвы, биоценоз, выживаемость растений.